

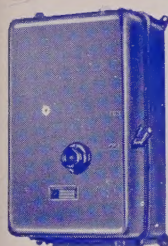
Elektrotechnik und Maschinenbau

ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN
VERBANDES FÜR ELEKTROTECHNIK
SCHRIFTFÜHRER: H. SEQUENZ UND F. SMOLA, WIEN SPRINGER-VERLAG, WIEN

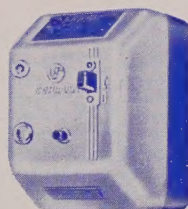
78. Jahrgang

Wien, 15. September 1961

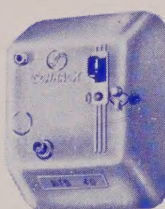
Heft 18, Seite 525—548



FU - FJ-Schutz
komb. Fehlerstrom-
Fehlervoltages-
Schutzschalter
IV polig,
40 — 100 A



FJ-Schutz,
Fehlerstrom-
Schutzschalter
IV polig
25 — 100 A



FU-Schutz,
Fehlervoltages-
Schutzschalter
II — IV polig
25 — 60 A

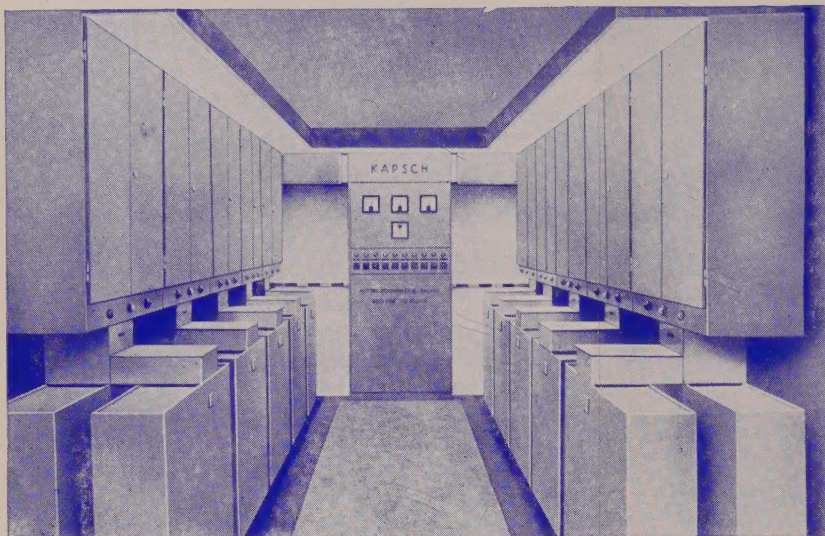
Schutz
vor
Stromtod
und
Brandgefahr



SCHRACK



Selbsttätige Kondensator-Anlagen



Unabhängig von der Aufmerksamkeit des Bedienungspersonals erfolgt der jeweils zweckmäßigste Einsatz der Kondensatoren selbsttätig

Geringste Stromkosten
Kein Bedienungspersonal

10 Stufen je 100 kVar bei 380 V oder 50 kVar bei 220 V, 50 Hz

KAPSCH & SÖHNE A. G., Wien XII, Wagenseilgasse 1, Tel. 54 06 31

wkm

MASSEKABEL bis 60 kV

•
KUNSTSTÖFFKABEL
bis 10 kV

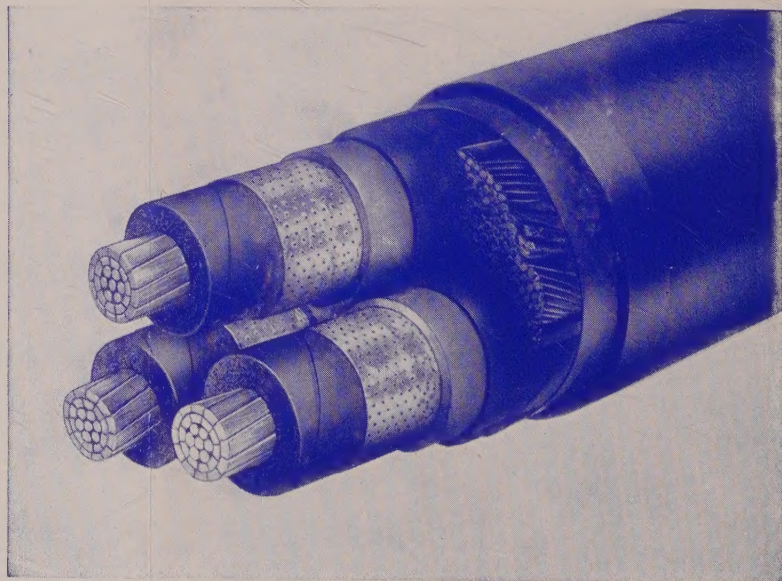
•
FERNMELDEKABEL
für Orts- und Fernverbindungen

•
ISOLIERTE LEITUNGEN
und DRÄHTE
für Stark- und Schwachstrom

•
FREILEITUNGSSEILE

*
Hochwertige Materialien
Modernste Einrichtungen
Sorgfältige Fertigung

*



WIENER KABEL- UND METALLWERKE AG.

Die Entwicklung der elektrischen Zugförderung im Netze der Österreichischen Bundesbahnen 1911 bis 1961

(Zur Fünfzigjahrfeier des elektrischen Betriebes auf der Mariazellerbahn)

Von A. KOCI, Wien

DK 621.33(436)(091)

Die nach langer, sehr sorgfältiger Planung als Verlängerung der seit 1898 bestehenden Lokalbahn St. Pölten—Kirchberg a. d. Pielach erbaute niederösterreichisch-steirische Alpenbahn nach Mariazell und weiter nach Gußwerk, meist kurz Mariazellerbahn genannt, wurde im Mai 1907 durch die damaligen niederösterreichischen Landesbahnen in der gesamten, rund 91 km langen Strecke in Betrieb genommen. Von allem Anfang an zeigte sich die eingleisige, mit Dampflokomotiven betriebene Schmalspurbahn dem über jede Erwartung starken Verkehrsumfang — und zwar sowohl im Personen- wie im Güterverkehr — kaum gewachsen, so daß man sehr bald an eine Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit denken mußte. Die Einführung des Nachtbetriebes schied dabei von vornherein aus, weil die Fahrgäste die Naturschönheiten und die bemerkenswerte technische Anlage der Bahn natürlich bei Tageslicht genießen wollten und ein Nachtbetrieb für den Güterverkehr allein wegen der damit verbundenen Steigerung der Betriebskosten nicht in Betracht gezogen werden konnte. Zugförderungstechnische Maßnahmen, wie etwa die Doppeltraktion, ließen keine wesentliche Verbesserung, dagegen aber erhöhte Schwierigkeiten und Kosten erwarten, die Zulegung eines zweiten Gleises und ebenso der Umbau auf Normalspur kamen wegen der unverhältnismäßig hohen Kosten dieser Maßnahmen auf der schwierigen Gebirgsstrecke ebenfalls nicht in Frage. So entschloß man sich bereits im ersten Betriebsjahr der Bahn zu ihrer Elektrifizierung. Diese Arbeit wurde den Österreichischen Siemens-Schuckertwerken übertragen und auch bald in Angriff genommen. Nach etwa dreijähriger Bauzeit wurde am 2. Oktober 1911 der elektrische Betrieb auf der gesamten Strecke St. Pölten—Gußwerk aufgenommen. Die benötigte elektrische Energie wurde von dem zu diesem Zwecke erbauten Wasserkraftwerk Wienerbruck und zunächst außerdem von dem Diesellochwerk St. Pölten geliefert, das aber späterhin anlässlich eines Umbaus vom Netz abgeschaltet wurde, da sich der Parallelbetrieb beider Werke als nicht erforderlich erwies. Bemerkenswert an der Energieversorgung ist die Verwendung der niedrigen Frequenz von 25 Hz; diese war gewählt worden, um die damals anders nicht erfüllbaren Anforderungen des elektrischen Lokomotivbetriebs, der — wie später noch ausgeführt werden wird — eine möglichst niedrige Frequenz verlangte, mit den Erfordernissen der Lichtstromversorgung vereinbaren zu können. Die Kraftwerke sollten nämlich nicht nur die Traktionsenergie für die Mariazellerbahn, sondern auch elektrische Energie für die Licht- und Kraftstromversorgung der von der Bahn durchzogenen Landschaft und insbesondere auch der

industriereichen Stadt St. Pölten liefern. Die Generatoren der Kraftwerke wurden zu diesem Zwecke so ausgebildet, daß sie wahlweise Drehstrom oder Einphasenstrom, beide mit der Frequenz von 25 Hz, abgeben können. Für die Orte im südlichen Teil der Strecke ist diese Art der Energieversorgung bis in die letzte Zeit beibehalten worden, im Nordteil und vor allem in St. Pölten wurde schon vor längerem die Allgemeinversorgung von der Bahnspiegelung getrennt und auf die Normalfrequenz von 50 Hz umgestellt. Die Bahnenergie wird der Fahrleitung einerseits unmittelbar vom Werk Wienerbruck mit der Fahrdrachtspannung von 6,5 kV, andererseits über die beiden Bahnunterwerke Kirchberg und Obergrafendorf zugeführt, die selbst vom Kraftwerk mit 27 kV angespeist werden.

Die Mariazellerbahn ging im Jahre 1922 mit dem gesamten Netz der niederösterreichischen Landesbahnen auf die Staatsbahnen über, aus denen bald darauf die Österreichischen Bundesbahnen gebildet wurden. Man kann daher mit Berechtigung feststellen, daß in deren Netz nunmehr seit 50 Jahren die Zugförderung mit Elektrolokomotiven auf Fernstrecken besteht. Wenn man nun bei dieser Gelegenheit auf die Entwicklung der elektrischen Zugförderung im Bundesbahnnetz zurückblickt, ergeben sich dabei folgende drei Fragen, nämlich auf Grund welcher Überlegungen und Erfahrungen man vor 50 Jahren annehmen konnte, daß der elektrische Betrieb die erwartete Leistungssteigerung bringen würde, weiters wie sich die elektrische Zugförderung in dem seither verstrichenen halben Jahrhundert im Bundesbahnnetz entwickelt hat und drittens schließlich, wieweit die elektrische Traktion die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt hat. Im weiteren soll nun versucht werden, diese drei Fragen zu beantworten.

Schon frühzeitig hatten sich die Bahnverwaltungen und die Industrie Österreichs mit der elektrischen Traktion beschäftigt und hatten sich an ihrer Entwicklung in Europa von Anfang an maßgeblich beteiligt. Im Jahre 1880 — also nur ein Jahr nach der ersten geglückten Inbetriebsetzung einer elektrischen Eisenbahn durch WERNER VON SIEMENS in Berlin — baute die Wiener Telegraphenbauanstalt Egger eine ähnliche Ausstellungsbahn in Wien; diese elektrische Bahn verwirklichte manche eigenen Konstruktionsgedanken ihres Erbauers, wie etwa die elektrische Umsteuerung der Fahrtrichtung des Triebfahrzeuges im Gegensatz zu dem Zahnradwendegetriebe, das Siemens hierfür noch benützte. 1883 nahm dann bereits die erste für den Dauerbetrieb bestimmte elektrische Straßenbahn Österreichs von Mödling in die Hinterbrühl den Betrieb auf

und in den darauffolgenden Jahrzehnten entstanden in Österreich zahlreiche mit Gleichstrom betriebene Straßen- und Lokalbahnen. Diese gestatteten es, die elektrische Traktion zu erproben, ihre besonderen Eigenschaften und ihre Vorteile zu erkennen und zu überprüfen.

Als um die Jahrhundertwende in verschiedenen Ländern Versuche aufgenommen wurden, die elektrische Traktion für den Vollbahnbetrieb zu verwenden, beteiligte sich Österreich intensiv auch an diesen Planungen und Arbeiten; es kann sich dabei rühmen, daß in seinem Bereich die erste mit Hochspannung betriebene Eisenbahn in Betrieb ging, nämlich die mit Drehstrom von 3 kV Fahrdratspannung gespeiste Werksbahn in Wöllersdorf; diese Bahn nahm im März 1902 ihren Betrieb auf und gab ihrer Erbauerin, der Firma Ganz,

wurde im Jahre 1906 bei der damaligen Eisenbahn-Baudirektion ein Studienbüro für die Einführung der elektrischen Zugförderung geschaffen. Dieses Studienbüro arbeitete baureife Pläne für die Ausrüstung, für die Energieversorgung und für die elektrischen Triebfahrzeuge der genannten Streckenabschnitte aus. Allerdings konnte man sich damals dann doch nicht zur Einführung der neuen, noch wenig erprobten Traktionsart entschließen, da sowohl die Betriebsstellen der Bahn wie auch die maßgebenden militärischen Stellen dagegen Einwände erhoben und wirtschaftliche Gründe dafür nicht vorgebracht werden konnten, gehörte doch die Donaumonarchie damals zu den kohlenreichsten Wirtschaftsgebieten Europas. War dem Studienbüro somit auf seinem eigentlichen Aufgabengebiet zunächst kein Erfolg beschieden, so erwiesen sich seine Arbeiten doch



Abb. 1. Elektrifizierung der Österreichischen Bundesbahnen, Stand 1. Januar 1961

die sehr erwünschte Gelegenheit, Erfahrungen für die damals gerade im Bau stehende, ebenfalls mit Drehstrom gespeiste Valtellinabahn in Oberitalien zu sammeln. Auch die ersten Versuche mit hochgespanntem Gleichstrom für Traktionszwecke wurden in Österreich durchgeführt, nämlich im Jahre 1906 auf der Wiener Stadtbahn; hier wurde ein Gleichstromdreileitersystem mit $2 \times 1,5 = 3$ kV Fahrdratspannung mit Erfolg erprobt. Im Jahre 1904 wurde ferner die erste Wechselstrombahn Europas von Innsbruck nach Fulpmes in Betrieb gesetzt.

Bei dem im Jahre 1901 in Angriff genommenen Bau der Bahnverbindung Salzburg—Triest beschäftigte man sich auch mit der Frage, wie die Zugförderung auf den zum Teil sehr schwierigen Streckenabschnitten dieser Bahn — den Steilrampen der Tauern- und Karawankenbahn und den unter Wassermangel leidenden Karststrecken — verbessert werden könnte und dachte hier bald an die Einführung der elektrischen Traktion. Zur Klärung der damit zusammenhängenden Probleme

für die weitere Entwicklung als äußerst wertvoll. Die von diesem Büro durchgeführte systematische Überprüfung und Erfassung der Wasserkräfte der österreichischen Alpen schuf die ersten Grundlagen für den österreichischen Wasserkraftkataster, der sich seither zu einer der wichtigsten Voraussetzungen für die planmäßige Ausnützung der Wasserkräfte in Österreich entwickelt hat. Die eingehenden Untersuchungen des Studienbüros über die Eigenschaften der elektrischen Zugförderung ließen deren Vorteile klar erkennen und gaben den Anstoß zu ihrer Einführung auf mehreren für den Durchgangsverkehr wohl weniger bedeutungsvollen, dagegen aber zugförderungstechnisch besonders schwierigen Eisenbahnstrecken. Die erste davon war gerade die Mariazellerbahn und der Beschluß zu ihrer Elektrifizierung konnte sich also auf die Untersuchungen und Erkenntnisse des Studienbüros stützen.

Die langjährigen Erfahrungen mit elektrisch betriebenen Lokalbahnen und die eingehenden Untersuchungen vieler Bahnverwaltungen über den elektri-

schen Betrieb von Fernbahnen, vor allem aber die Arbeiten des Studienbüros der Staatseisenbahnen ließen somit erwarten, daß durch die elektrische Traktion eine wesentliche Leistungssteigerung des Bahnbetriebes gegenüber der Dampfzugförderung vor allem auf Gebirgsstrecken möglich sein werde. Der Erfolg einer nunmehr fünfzigjährigen Betriebsführung beweist wohl am besten die Richtigkeit der damaligen Überlegungen und gibt dem seinerzeit gefaßten Entschluß recht.

Somit können wir uns nunmehr der zweiten der eingangs aufgeworfenen Fragen zuwenden, wie sich die Elektrifizierung in dem halben Jahrhundert seit der ersten Aufnahme eines elektrischen Lokomotivbetriebes im Bundesbahnnetz entwickelt hat. Dazu ist folgendes zu sagen:

Etwa ein Jahr nach der Aufnahme des elektrischen Betriebes auf der Mariazellerbahn, am 18. September 1912, wurde die Karwendelbahn von Innsbruck nach Scharnitz eröffnet, der am 29. Juni 1913 die Außerfernbahn Griesen—Reutte folgte. Diese beiden durch die bayrische Mittenwaldbahn miteinander verbunden und daher gern zusammenfassend als österreichische Mittenwaldbahn bezeichneten Streckenabschnitte bildeten die erste normalspurige Vollbahn, die in Österreich elektrifiziert und gleichzeitig hier die erste Bahnlinie, die von Anfang an für den elektrischen Betrieb geplant und gebaut wurde. Mit einer Höchststeigung von 35% ist sie die steilste aller derzeit elektrisch betriebenen Bundesbahnstrecken. Zur Energieversorgung der gesamten Mittenwaldbahn wurde das Kraftwerk Schönberg am Ruetzbach südlich von Innsbruck errichtet. Die Energie wurde über eine Übertragungsleitung mit 55 kV Betriebsspannung den Bahnunterwerken Reith bei Seefeld und Schanz bei Ehrwald zugeleitet. Nach der Elektrifizierung der Arlbergbahn und der Strecke München—Garmisch wurden diese beiden Unterwerke um das Jahr 1925 stillgelegt; die Energieversorgung geschieht seither für den östlichen Teil der Mittenwaldbahn vom Unterwerk Zirl an der Arlbergstrecke, für ihren westlichen Teil vom Unterwerk Murnau der Deutschen Bundesbahnen aus.

Der Verlauf der ganzen Bahn durch zwei Staatsgebiete — von der gesamten Streckenlänge liegen etwa zwei Drittel in Österreich und ein Drittel in Bayern — machte eine Vereinbarung über das zu verwendende Stromsystem nötig. Diese Vereinbarung kam bald zustande, ging aber über die lokale Bedeutung für die Mittenwaldbahn weit hinaus. Die in jener Zeit an der Elektrifizierung ihrer Strecken interessierten Bahnverwaltungen Mitteleuropas — es waren dies außer den Österreichischen Staatsbahnen die Badischen, Bayrischen und Preußischen Staatsbahnen in Deutschland, ferner die Schweizerischen Bundesbahnen, die Schwedischen und Norwegischen Staatsbahnen — beschlossen damals auf Grund eingehender Studien und der Ergebnisse mehrerer Probetriebes die einheitliche Verwendung von Einphasenwechselstrom niedriger Frequenz (zuerst 15 Hz, bald aber $\frac{50}{3}$ = $16\frac{2}{3}$ Hz) mit einer Fahrdrachtspannung von 15 kV; dieses Stromsystem wurde im Bereiche der genannten Bahnverwaltungen bis heute beibehalten und hat sich unter den schwierigsten anlage- und betriebsmäßigen Verhältnissen gut bewährt.

In den letzten Jahren hat die Frage des für die elektrische Zugförderung in der Fahrleitung anzuwendenden Stromsystems zu manchen, oft mit großer Leidenschaft, leider aber nicht immer sachlich geführten Debatten Anlaß gegeben, und dadurch die Aufmerksamkeit weiterer Kreise erregt. Es ist daher vielleicht angebracht, hier etwas näher auf die Entwicklung und die besonderen Probleme der Stromsysteme für die elektrische Traktion einzugehen.

In der ersten Zeit der Verwendung des elektrischen Stromes für Traktionszwecke — etwa bis zur Jahrhundertwende — stand hierfür nur der Gleichstrom zur Verfügung. Der Gleichstromserienmotor erwies sich durch die ihm eigentümliche Geschwindigkeits-Charakteristik für den Fahrbetrieb außerordentlich günstig, sein Nachteil war jedoch der empfindliche Kollektor; dieser beschränkte die Betriebsspannung und bestimmte durch seine begrenzte Laufleistung die Revisionsfristen und damit weitgehend die Erhaltungskosten der Triebfahrzeuge. Ein weiterer schwerwiegender Nachteil des Gleichstromsystems war das Fehlen der Transformierbarkeit des Stromes; dies erzwang einerseits die unwirtschaftliche Geschwindigkeitsregelung durch Widerstände und Kunstschaltungen der Motoren, andererseits die Angleichung der Fahrleitungsspannung an die in den Motoren verarbeitbare Spannung. Als Folge dieses letztgenannten Zusammenhanges war die elektrische Traktion damals auf kürzere, nicht allzu schwer belastete Strecken, also vorwiegend auf Straßen-, Stadt- und Lokalbahnen beschränkt. Auf Fernbahnen konnte man zu dieser Zeit die Elektrozugförderung nur für kurze Streckenabschnitte mit besonders schwierigen Traktionsverhältnissen — etwa für Tunnelstrecken, Stadtdurchquerungen u. dgl. — verwenden.

Mit diesen Einschränkungen in der Anwendung der Elektrotraktion auf Fernbahnen wollte man sich aber bald nicht mehr zufrieden geben. Hier schien nun zunächst der Drehstrom einen entscheidenden Fortschritt zu bringen. Der Asynchronmotor war in Aufbau und Bedienung unübertrefflich einfach, er besaß vor allem keine so empfindlichen Teile, wie es etwa der Kollektor ist. Von der Nebenschlußcharakteristik der Asynchronmotoren erhoffte man sich anfangs sogar Vorteile für die Einhaltung des Fahrplanes. Es erwies sich aber, daß Verspätungen beim elektrischen Bahnbetrieb nur zum geringsten Teil durch Fahrzeitüberschreitungen während der normalen Streckenfahrt, hauptsächlich dagegen durch die Aufenthalte in den Bahnhöfen und durch Langsamfahrten an Baustellen bedingt sind; gerade derartige Verspätungen lassen sich nun aber bei der starren Drehzahlcharakteristik der Asynchronmotoren auf der Streckenfahrt nicht ausgleichen. Der besondere Vorteil der Motoren mit Nebenschlußcharakteristik, daß sie bei Geschwindigkeitserhöhungen selbsttätig vom Motor- auf den Generatorbetrieb übergehen und daher in einfachster Art eine elektrische Bremsung mit Energierückgewinn gestatten, erwies sich nicht als so bedeutsam, wie man anfangs annahm. Ein fühlbarer Energierückgewinn ergab sich nur in besonderen Fällen, etwa bei reinen Bergbahnen oder bei Stadtbahnen mit kurzen Haltestellenentfernungen, also bei oftmaligem Anfahren und Bremsen. Der Nachteil dabei war aber der, daß man damit wohl die für die Betriebssicherheit wichtigen Radreifen und die billigen Brems-

klötze schonte, dafür aber die teure elektrische Ausrüstung besonders stark beanspruchte, da man ihr die natürlichen Abkühlungszeiten während der Talfahrt bzw. während des Auslaufens wegnahm. Es erwies sich daher bald, daß in der Traktion — abgesehen von Sonderfällen — die Nachteile der Nebenschluß-Charakteristik der Motoren ihre Vorteile bei weitem überwogen. Weiters entsprach die Geschwindigkeitsregelung der Asynchronmotoren keineswegs den Anforderungen des Bahnbetriebes, vor allem ließ sich die Transformierbarkeit des Drehstroms hierfür nicht ausnützen. Als schwerwiegendster Nachteil des Drehstromsystems zeigte sich jedoch die dabei erforderliche doppelpolige Fahrleitung, da eine Phase des Drehstromes an die Schiene, die beiden anderen an gegeneinander isolierte Fahrleitungen gelegt werden mußten. Dadurch ergeben sich schwere und teure Fahrleitungsgestänge, in Bahnhöfen erforderte die Isolierung der beiden Fahrleitungen gegeneinander bei Weichen und Kreuzungen sehr komplizierte und betriebsbehindernde Anordnungen. Schließlich beschränkte die doppelpolige Fahrleitung die Fahrdrachtspannung so stark, daß die Vorteile der Transformierbarkeit des Drehstromes kaum mehr ausgenützt werden konnten. Jedenfalls sind die Nachteile des Drehstromsystems so ausgeprägt, daß es heute wohl kaum mehr neu zur Verwendung kommen wird und auch dort, wo es derzeit im Fernbahnbetrieb noch benutzt wird, wie etwa in Italien, allmählich durch ein günstigeres elektrisches Traktionssystem ersetzt wird.

Aus allen diesen Schwierigkeiten brachte nun der Einphasenwechselstrom einen Ausweg. Er besaß den Vorteil der Transformierbarkeit und gewährte damit volle Freizügigkeit in der Wahl der Fahrdrachtspannung, er benötigte nur eine einpolige und daher einfache Fahrleitung und gestattete die Verwendung der im Gleichstrombetrieb erprobten Motoren mit Reihenschlußcharakteristik, die zudem eine einfache und wirtschaftliche Geschwindigkeitsregelung durch Änderung der Motorspannung mittels eines Stufentransformators auf der Lokomotive gestatten. Leider ergab sich sehr bald, daß der Kollektor hier noch größere Schwierigkeiten als bei Gleichstrom mit sich brachte. Bei Wechselstrom wird der Kollektor zusätzlich durch den transformatorisch erzeugten Bürstenkurzschlußstrom belastet, der nur für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich genügend genau kompensiert werden kann. Beim Anfahren und bei Langsamfahrt beansprucht er dagegen den Kollektor stark, sofern nicht die transformatorische Spannung auf einem sehr kleinen Wert gehalten werden kann. Als einfachstes und wirksamstes Mittel zur Erreichung dieses Zieles erwies sich die Verwendung einer möglichst niedrigen Frequenz. Damit setzte sich aber die Traktionstechnik in Gegensatz zur elektrischen Licht- und Kraftstromversorgung, die zur Erzielung einer flimmerfreien Beleuchtung und zur Vermeidung allzuhoher Eisengewichte in den elektrischen Maschinen nach höherer Frequenz strebte. Nach einigen Versuchen mit einer mittleren, für beide Zwecke gerade noch geeigneten Frequenz, wofür die Mariazellerbahn, wie schon erwähnt, ein Beispiel bietet, entschloß man sich in den Entwicklungsjahren der elektrischen Traktion zur Verwendung einer von der Landesversorgung abweichenden niedrigeren Frequenz. Man konnte dies in jener Zeit unbedenklich tun, weil man beim dama-

ligen Stand der Kraftwerks- und Übertragungstechnik an gemeinsame Kraftwerke und Verteilnetze nicht denken konnte. Die oben erwähnte Vereinbarung der mitteleuropäischen Eisenbahnverwaltungen über die Verwendung eines Wechselstromes einheitlicher Fahrdrachtspannung und Frequenz wirkte sich sehr günstig für die weitere Entwicklung der Einrichtungen für dieses Stromsystem aus, die im Laufe der Zeit ganz außerordentliche Fortschritte in konstruktiver und wirtschaftlicher Richtung erbrachte.

In der Zwischenzeit waren aber auch wesentliche Fortschritte im Bau der Gleichstrommotoren gemacht worden, so daß sie nunmehr wesentlich höhere Spannungen verarbeiten konnten. Außerdem war es durch die Entwicklung der Umformer- und Gleichrichtertechnik möglich geworden, den Drehstrom wirtschaftlich und sicher in Gleichstrom umzuformen, so daß jetzt die Fernübertragung der elektrischen Energie mit hochgespanntem Drehstrom durchgeführt wurde, der dann in den längs der Bahnstrecke verteilten Umformerwerken in einen Gleichstrom passender Spannung verwandelt und so über die Fahrleitung den Triebfahrzeugen zugeleitet werden konnte. Diese Entwicklung gestattete nunmehr auch die Anwendung des Gleichstromes zur Speisung von Fernbahnen.

Die Erfahrungen, die beim Bau der Motoren für niederfrequenten Wechselstrom gesammelt worden waren, ermöglichten auch entsprechende Fortschritte in der Konstruktion von Motoren höherer Frequenz. Außerdem gestattete es die Entwicklung der Gleichrichter, insbesondere der durch die Halbleitertechnik möglich gewordenen Trockengleichrichter hoher Leistung (Germanium- und Siliziumgleichrichter), den den Triebfahrzeugen zugeführten Wechselstrom beliebiger Frequenz auf den Fahrzeugen selbst in Gleichstrom oder Wellenstrom umzuformen. Damit wurde nunmehr die Anwendung von Wechselstrom der normalen Industriefrequenz für Traktionszwecke auch für den Fernbahnbetrieb möglich.

Somit können für den Fernbahnverkehr derzeit folgende drei Stromsysteme in Betracht gezogen werden, wobei die angegebenen Zahlenwerte in erster Linie für europäische Verhältnisse gelten:

1. Gleichstrom mit Fahrdrachtspannungen von 1,5 oder 3 kV;
2. Niederfrequenter Wechselstrom mit 15 kV Fahrdrachtspannung und einer Frequenz von $16\frac{2}{3}$ Hz; die Einheitlichkeit von Spannung und Frequenz ist hier dem schon frühzeitig zwischen den beteiligten Bahnverwaltungen abgeschlossenen Übereinkommen zu danken;
3. Wechselstrom der Industriefrequenz von 50 Hz mit Fahrdrachtspannungen von 15, 20 oder 25 kV.

Der Gleichstrom gestattet die Verwendung des betriebsmäßig sehr günstigen Serienmotors und verfügt damit über sehr einfach gebaute, billige und robuste Triebfahrzeuge. Dagegen verlangt die verhältnismäßig immer noch niedrige Fahrdrachtspannung große Leiterquerschnitte in den Fahrleitungen und ergibt damit schwere und teure Fahrleitungen hohen Kupferbedarfes und verhältnismäßig in kurzen Abständen voneinander anzuordnende Speisepunkte. Wesentlich verbessert werden allerdings diese Verhältnisse durch die be-

sonders günstigen Übertragungseigenschaften des Gleichstromes, für den der durch die große Induktivität der Fahrleitungsschleife besonders hohe Wechselstromwiderstand der Fahrleitung bedeutungslos ist. Jedenfalls ergibt aber das Gleichstromsystem billige Triebfahrzeuge und teure Fahrleitungsanlagen, wird also vor allem dort wirtschaftlich gerechtfertigt sein, wo es sich um einen dichten Verkehr in einem vermaschten Netz handelt. Nachteilig für den Gleichstrom ist die ungünstige Geschwindigkeitsregelung der Motoren, die einen beträchtlichen zusätzlichen Energieaufwand verursacht. Die zur Erzielung wirtschaftlicher Dauergeschwindigkeitsstufe angewendete Serienparallelschaltung der Motoren beschränkt bei dem heute in der Regel benützten Einzelachsenantrieb ganz wesentlich die ausnützbare Adhäsion der Triebachsen, um das bei der Serienschaltung besonders störende Schleudern einzelner Achsen sicher zu verhindern.

Der Wechselstrom jeder Frequenz ergibt durch seine Transformierbarkeit einerseits die Freizügigkeit in der Wahl der Fahrdrachtspannung, deren Höhe nur mehr durch wirtschaftliche Überlegungen begrenzt wird, andererseits eine einfache und wirtschaftliche Geschwindigkeitsregelung der Triebfahrzeuge. Der dadurch mögliche Verzicht auf besondere Motorschaltungen gestattet die Ausnützung der Adhäsion bis an die betrieblich zulässigen Grenzen. Die Verwendung von Gleichrichtern auf den Lokomotiven ermöglicht auch hier die Anwendung der robusten Gleichstrommotoren für den Antrieb. Allerdings komplizieren die Gleichrichter und vor allem die zu ihrem Schutz notwendigen Schnellschalter und sonstigen Schutzeinrichtungen — die Trokengleichrichter sind bekanntlich sehr empfindlich gegen Überstrom und Überspannungen und müssen daher bei deren Auftreten in kürzester Zeit abgeschaltet oder überbrückt werden — den Aufbau der Lokomotiven sehr und erhöhen ihre Störungsanfälligkeit beträchtlich, eine für die Zugförderung recht unerwünschte Beigabe. Dies ist der wesentliche Grund dafür, daß viele Bahnverwaltungen soweit wie möglich die Direktspeisung der Motoren vorziehen, zumal bei der geringen Ausnützung der installierten Lokomotivleistung — wovon noch zu sprechen sein wird — eine mehrfache Energieumsetzung auf der Lokomotive aus wirtschaftlichen Gründen gut überlegt werden muß.

Der niederfrequente Wechselstrom gestattet die Verwendung sehr einfacher, robuster und betriebssicherer Triebfahrzeuge. Die niedrige Frequenz ergibt günstige, dem Gleichstrom ähnliche Übertragungsverhältnisse, was sich vor allem in der Fahrleitung auswirkt und lange Speisebezirke, also große Unterwerksentfernungen, möglich macht. Der niederfrequente Wechselstrom ist daher für den Betrieb auf langen Strecken mit mittlerer und starker Belastung besonders geeignet. Sein Nachteil ist die Verwendung einer besonderen Stromart, die entweder in eigenen Maschinsätzen erzeugt oder durch Umformung gewonnen werden muß. Die bei der Primärerzeugung dieses Sonderstromes auftretenden höheren Verluste werden durch die günstigeren Übertragungswirkungsgrade des niederfrequenten Stromes ausgeglichen. Wenn also das Bahnnetz so groß ist, daß es die vollständige Ausnützung ganzer Kraftwerke sicherstellt, dann ist die Erzeugung eines Sonderstromes kein wirtschaftlicher Nachteil. Die

Umformung ist dagegen wohl nur unter besonderen Umständen, etwa bei sehr niedrigem Gestehtungspreis der Energie oder zum Energieausgleich zwischen Landesversorgungsnetz und Bahnnetz gerechtfertigt. Die Notwendigkeit besonderer Übertragungsnetze bei der Primärerzeugung des Sonderstromes ist wirtschaftlich nicht so bedeutsam, wie man manchmal annimmt, weil nicht übersehen werden darf, daß in der Regel auch die anderen Stromsysteme Hochspannungszuleitungen für Bahnzwecke erfordern, deren Kosten größenordnungsmäßig meistens durchaus vergleichbar sind. Der Fall, daß in ausgebauten Netzen bestehende Speisepunkte der Landesversorgung ohne weiteres für die Bahnspeisung mitverwendet werden können, ist auch in Gebieten großer Energiedichte durchaus nicht so häufig, wie man vermuten könnte, wenn man nicht der einen oder anderen Seite einen betrieblich sehr lästigen Zwang auferlegen will.

Der Wechselstrom der Normalfrequenz wird mit Vorteil dann anzuwenden sein, wenn entweder ein engmaschiges Landesversorgungsnetz herangezogen oder wenn die gesamte Energieversorgung eines Landstriches neu entworfen und dabei auf beide Zwecke abgestimmt werden kann. Nachteilig bei diesem System ist der immer noch recht komplizierte und betriebsempfindliche Aufbau der Fahrzeuge. Wenn man, was wohl immer angestrebt wird, den Einphasenstrom aus dem Drehstromnetz entnehmen will, dann kann sich die ungleichmäßige Belastung der Phasen des speisenden Netzes störend bemerkbar machen. Die Verteilung der Streckenabschnitte der Bahn auf die verschiedenen Drehstromphasen zum Belastungsausgleich erfordert besondere Schaltungen der Fahrleitungen, die betrieblich ungünstig sind. Der hohe Wechselstromwiderstand der Fahrleitungsschleife macht die Erhöhung der Fahrdrachtspannung erforderlich, was Mehrkosten ergibt, wobei trotzdem die Speisebereiche enger begrenzt bleiben.

Abschließend ist zur Frage der Systemwahl zu sagen, daß alle drei eben besprochenen Stromsysteme eine einwandfreie Betriebsführung zulassen. Es sind daher ausschließlich wirtschaftliche Überlegungen, die in jedem Einzelfall die Entscheidung bringen müssen. Keinesfalls ist aber ein System dem anderen so weit überlegen, daß dadurch ein Umbau bestehender größerer Netze gerechtfertigt wäre. Dabei darf auch nicht übersehen werden, daß jedes Netz betrieblich und energiewirtschaftlich um so günstiger arbeitet, je größer es ist, es wäre daher verfehlt, während des Ausbaues eines Netzes das Stromsystem zu wechseln; dies wäre höchstens in ganz großen, betrieblich ohnehin in Teilnetze zerfallenden Bahnbetrieben gerade noch zu vertreten. So wird denn wohl die aus der historischen Entwicklung zu erklärende, den Außenstehenden begreiflicherweise verwirrende Vielfalt der Stromsysteme nicht mehr ganz zu beseitigen sein. Die Nachteile dieser Verschiedenartigkeit dürfen aber nicht überschätzt werden, insbesondere seit die moderne Gleichrichtertechnik den Bau wirtschaftlicher Allstrom-Triebfahrzeuge gestattet.

Nach dieser Abschweifung wollen wir nun zur Besprechung der Entwicklung des elektrisch betriebenen Bahnnetzes in Österreich zurückkehren. Am 5. Februar 1914 wurde der elektrische Betrieb auf der Über-

landstrecke Groß Schwechat—Berg (—Engerau) der Preßburgerbahn mit niederfrequentem Einphasenwechselstrom aufgenommen, der am 13. April desselben Jahres die mit Gleichstrom straßenbahnartig betriebene Stadtstrecke Wien Hauptzollamt—Groß Schwechat sowie die ebenfalls mit Gleichstrom gespeiste Stadtstrecke Engerau—Preßburg folgten. Nach dem Ende des ersten Weltkrieges wurde die nunmehr außerhalb der Grenzen Österreichs gelegene Endstrecke von Berg über Engerau nach Preßburg stillgelegt und durch eine Straßenbahnlinie ersetzt. Die durchgehenden Züge der Preßburger-Bahn hatten in Groß Schwechat (und ebenso in Engerau) Lokomotivwechsel, wobei die Gleichstromlokomotiven im Wechselstromteil des Bahnhofes mit gesenktem Stromabnehmer fuhren und während dieser Zeit aus einer mitgeführten Batterie gespeist wurden. Die Energieversorgung der Wiener Gleichstromstrecke, die im Jahre 1945 durch Kriegseinwirkungen zerstört und späterhin

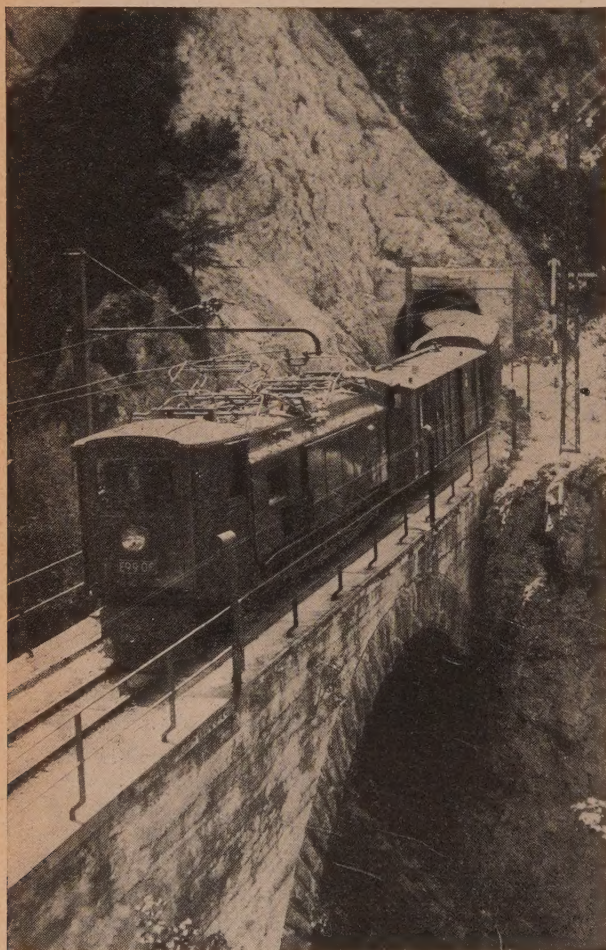


Abb. 2. Zug der Mariazellerbahn mit der seit 50 Jahren im Dienst stehenden Elektrolokomotive, Reihe 1099

abgetragen wurde, erfolgte aus den Speisepunkten des städtischen Straßenbahnnetzes, zur Speisung der Wechselstromstrecke wurde im Dampfkraftwerk Simmering der Wiener Städtischen Elektrizitätswerke ein Umformerwerk errichtet, das bis zum Jahre 1958 in Betrieb stand. Seit seiner Stilllegung be-

zieht die Preßburgerbahn ihre elektrische Energie aus dem Verbundnetz der Bundesbahnen über das Bahnunterwerk Meidling.

Bald nach der Inbetriebsetzung der Preßburgerbahn unterbrach der erste Weltkrieg die weiteren Planungen und Arbeiten der Elektrifizierung. Die drei damals in Betrieb stehenden Bahnen, von denen die Mariazellerbahn und die Preßburgerbahn durch die Niederösterreichischen Landesbahnen, die Mittenwaldbahn dagegen durch die damaligen Staatsbahnen betrieben wurden, gaben aber die erwünschte Gelegenheit, die betrieblichen und wirtschaftlichen Eigenschaften der elektrischen Traktion zu erkennen und zu überprüfen. Die Gesamtlänge der elektrisch betriebenen Fernbahnen betrug damals 216 km, für die Energieversorgung der elektrischen Zugförderung dieser Strecken dienten zwei Wasserkraftwerke und ein Umformerwerk, die über zwei direkte Speisepunkte und über vier Bahnunterwerke die Fahrleitungen mit Energie versorgten.

Der Zerfall des Wirtschaftsgebietes der Donaumonarchie nach dem Ende des ersten Weltkrieges schuf für das Verkehrswesen und vor allem für die Eisenbahnen Österreichs völlig neue Verhältnisse; insbesondere die energiewirtschaftlichen Grundlagen waren gänzlich andere geworden. Die bisherigen Kohlenlieferer lagen nunmehr außerhalb der Landesgrenzen in den Nachfolgestaaten, die an das von ihnen mit Mißtrauen angesehene Österreich Kohle nur ungern und unverlässlich, vor allem aber nur gegen kostbare Devisen lieferten. Es war daher begreiflich, daß sich die österreichische Staatsbahnverwaltung bemühte, die ausländische Kohle durch die einheimische Wasserkraft als Energiequelle für die Traktion zu ersetzen. Sie konnte dabei an die Arbeiten des Studienbüros anknüpfen, das baureife Elektrifizierungspläne für einige Strecken bereits ausgearbeitet, insbesondere aber die Wasserrechte für mehrere Wasserkraftanlagen schon vor dem ersten Weltkriege für die Bahnverwaltung erworben hatte. Diese Vorarbeiten gestatteten es, schon im Frühjahr 1919 — also knapp ein halbes Jahr nach dem Zusammenbruch des alten Wirtschaftsystems — die Elektrifizierungsarbeiten im Netze der Österreichischen Bundesbahnen zu beginnen. Die erste Elektrifizierungsaktion dauerte bis 1930 und umfaßte die Einführung der elektrischen Traktion auf der Westbahn von Salzburg über Innsbruck und über den Arlberg bis nach Bregenz samt den anschließenden Strecken Wörgl—Kufstein, Innsbruck—Brenner und Feldkirch—Buchs, sowie außerdem auf der getrennt von diesem Netz liegenden Salzkammergutstrecke von Attnang-Puchheim nach Stainach-Irdning. Nach Abschluß dieses Programms trat trotz der weitergehenden Planung eine Unterbrechung der Arbeiten ein; die Kohlenlieferer, die in der ersten Nachkriegszeit den Bundesbahnen den Bezug ihrer Kohle so schwer wie möglich gemacht hatten, waren inzwischen zur Erkenntnis des damit gemachten wirtschaftlichen Fehlers gekommen und versuchten nun mit der gleichen rücksichtslosen Energie, sich den sicheren Abnehmer für ihre Kohle zu erhalten und aus diesem Grunde die Weiterführung der Elektrifizierung zu verhindern. Unter diesen Umständen konnten erst nach einer mehrjährigen Unterbrechung die Arbeiten in den Jahren 1933 bis 1935 fortgesetzt und die Tauernbahn von Schwarzach-St. Veit bis Spittal-Millstätter-

see elektrifiziert werden. Als dann im Frühjahr 1937 die planmäßige Weiterelektrifizierung der Westbahn von Salzburg mit dem Ziele Wien in Angriff genommen wurde, war es zu spät. Die erste Bauetappe dieses Programms war noch im vollen Gange, als der Beginn des zweiten Weltkrieges eine neuerliche Unterbrechung erzwang. Lediglich die Strecke von Salzburg bis nach Attnang-Puchheim konnte noch fertiggestellt werden. Welcher Schaden durch diese Unterbrechung der Elektrifizierung, dem Verkehrswesen und der gesamten Wirtschaft Österreichs zugefügt wurde, zeigte sich nach dem Zusammenbruche des Jahres 1945 in voller Deutlichkeit.

Zur Energieversorgung der nach dem ersten Weltkrieg neu elektrifizierten Strecken wurde das Bahnkraftwerk Schönberg erweitert, die bahneigenen Wasserkraftwerke Spullersee, Obervellach, Enzingerboden und Schneiderau wurden neu erbaut und in den bahnfremden Wasserkraftwerken Steeg und Achensee Bahnmaschinensätze aufgestellt. Die Energieverteilung geschah zuerst mit 55 kV, erst im Jahre 1937 ging man auf die Übertragungsspannung von 110 kV über. Zu Ende des zweiten Weltkrieges gab es im Netz der Bundesbahnen fast genau 1 000 km elektrisch betriebener Strecken, die aus 8 Wasserkraftwerken und einem Umformerwerk über 16 Bahnunterwerke gespeist wurden; von den letzteren hatten zwei eine Oberspannung von 27 kV, 13 eine solche von 55 kV, während damals nur 1 Bahnunterwerk 110 kV Oberspannung aufwies.

Sofort nach dem Ende des zweiten Weltkrieges begann die Bundesbahnverwaltung unter dem Eindrucke des damaligen Zusammenbruches des gesamten Verkehrswesens und in Erkenntnis der wirtschaftlichen Vorteile der elektrischen Traktion ein neues Elektrifizierungsprogramm auszuarbeiten. Im Jahre 1946 wurden die Arbeiten nach diesem Programm aufgenommen, litten aber von Anfang an unter der Ungunst der Wirtschaftslage; zunächst war es der Mangel an Arbeitskräften und an Baustoffen, dann aber im zunehmenden Maß der Mangel an Geldmitteln, der die Ausführung des Planes erschwerte. Daher wurde das Programm im Jahre 1953 den geänderten Wirtschaftsverhältnissen und den bisher gemachten Bauerfahrungen angepaßt und in dieser Form auch in das Großinvestitionsprogramm der Bundesregierung von 1954 aufgenommen. Nach diesem Plan werden die Arbeiten derzeit zumindest in technischer Hinsicht durchgeführt, der Zeitplan allerdings muß den schwankenden Mittelzuweisungen jeweils angepaßt werden.

Bis 1960 konnte der elektrische Betrieb auf der Strecke von Attnang-Puchheim bis Wien, auf den Strecken Wels—Passau, St. Margrethen—Bregenz—Lindau, Spittal-Millstättersee—Villach—Rosenbach—Aßling, St. Veit a. d. Glan—Villach—Tarvis, Wien—Mürzzuschlag und auf einigen weiteren, dieses Netz ergänzenden Abschnitten aufgenommen werden. Zur Sicherung der Energieversorgung wurden die Wasserkraftwerke Uttendorf und Braz sowie das Großumformerwerk Auhof erbaut, dagegen konnte die kleine veraltete Umformeranlage Simmering aufgelassen werden. Insgesamt standen zu Ende des Jahres 1960 rund 1 773 km Strecke in elektrischem Betrieb. Die elektrische Energie hierfür wird in 10 Wasserkraftwerken und einem Umformerwerk erzeugt und über 29 Bahn-

unterwerke, davon 2 für 27 kV, 10 für 55 kV und 17 für 110 kV Oberspannung, der Fahrleitung zugeführt.

Im Umbau auf die elektrische Traktion stehen derzeit die Strecke St. Veit—Knittelfeld und das Netz der Wiener Schnellbahn (Meidling—Floridsdorf—Gän-

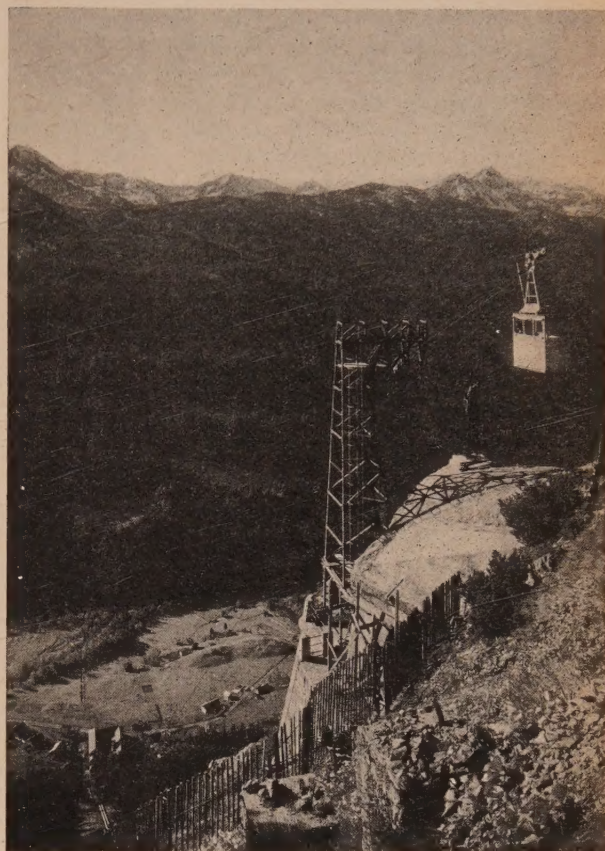


Abb. 3. Bahnkraftwerk Spullersee vom Wasserschloß aus

serndorf, Floridsdorf—Stockerau und Rennweg—Groß Schwechat) mit zusammen rund 174 km Betriebslänge. Diese Abschnitte sollen noch im Jahre 1961 im wesentlichen betriebsbereit gemacht werden. Nach Fertigstellung dieser Arbeiten sind nach dem in das Großinvestitionsprogramm der Bundesregierung aufgenommenen Elektrifizierungsplan noch rund 640 km Strecke zu elektrifizieren. Es sind dies die Strecken Mürzzuschlag—Knittelfeld (womit der durchgehende elektrische Betrieb von Wien nach Kärnten bis an die italienische und jugoslawische Grenze möglich wird), ferner Bruck—Graz—Spielfeld, St. Michael—Selzthal—Linz, Selzthal—Amstetten/St. Valentin und einige kürzere, das elektrisch betriebene Netz abrundende Abschnitte. Nach Abschluß dieses Planes werden somit fast 2 600 km Strecke oder über 43% des Bundesbahnnetzes elektrisch betrieben werden.

Die Entwicklung der elektrischen Zugförderung im Netz der Österreichischen Bundesbahnen ist aus der abgebildeten Karte von Österreich (Abb. 1) und aus der nachstehenden Tabelle I in einigen charakteristischen Werten zu entnehmen. In dieser Tabelle werden die Jahre 1918 (Ende des ersten Weltkrieges), 1944 (letztes volles Betriebsjahr vor dem Verkehrszusammen-

bruch am Ende des zweiten Weltkrieges) und 1960 (letztes volles Betriebsjahr vor Abfassung dieses Berichtes) miteinander vergleichen. Zu den Ziffern der Tabelle ist folgendes zu bemerken:

Während die Betriebslänge der elektrischen Zugförderung (Pkt. 1 der Tabelle) vom Jahre 1918 bis 1960 auf mehr als das Achtfache gestiegen ist, wuchsen ihre Verkehrsleistungen (Pkt. 7) auf etwa das Hundertfache an; der prozentuelle Anteil des elektrisch geführten Verkehrs wuchs dabei auf mehr als das Vierzigfache, was erkennen läßt, daß auch der Gesamtverkehr im Bundesbahnnetz auf über das Doppelte gestiegen ist. Die gegenüber der Betriebslänge viel stärkere Steigerung der Verkehrsleistung erklärt sich daraus, daß anfangs nur Nebenbahnen mit Verkehrsbelastungen wesentlich unter dem Netzdurchschnitt die elektrische Zugförderung erhielten, während in der letzten Zeit überwiegend gerade die am stärksten belasteten, also weit über dem Netzdurchschnitt liegenden Strecken elektrifiziert wurden. Dies geht auch aus der Steigerung

der spezifischen Streckenbelastungen (Pkt. 9) im Durchschnitt des elektrisch betriebenen Netzes hervor, die von 0,8 auf 9,9 Mill. Bruttotonnen je Jahr, also auf mehr als das Zwölfwache, gewachsen ist. Bezüglich der Betriebslänge ist es bemerkenswert, daß der Streckenzuwachs (Pkt. 1) nach dem zweiten Weltkrieg (800 km) jenen der Zwischenkriegszeit (786 km) bereits überschritten hat. Die Abfälle an Betriebslänge in der Zwischenkriegszeit betrafen einen Streckenumbau, jene der Nachkriegsjahre die Stilllegung kriegsbeschädigter Abschnitte und betrieblich nicht mehr erforderlicher Umfahrungsstrecken. Die stärkere Erhöhung der Länge der mit Fahrleitung überspannten Gleise (Pkt. 2) ist auf den Einfluß doppelgleisiger Strecken und größerer Bahnhofsanlagen zurückzuführen. Wenn man die in den Energiequellen, in den Unterwerken und in den elektrischen Triebfahrzeugen eingebaute elektrische Leistung (Pkt. 4, 5 und 6) vergleicht, dann sieht man, daß deren Verhältnis sich von rund 1:0,6:1,5 auf 1:1,5:4 geändert hat. Dies ist — abgesehen von der besonders großen Leistung

Tabelle I. Entwicklung des elektrischen Zugbetriebes der ÖBB

		1918	1944	1960
1. Elektrisch betriebene Strecken:				
Betriebslänge	km	216	1000	1773
d. s. vom Gesamtnetz	%	3,6	16,7	29,9
Zuwachs 1918 ... 1944 bzw. 1944 ... 1960	km	—	786	800
Abfall 1918 ... 1944 bzw. 1944 ... 1960	km	—	2	27
2. Länge der Gleise mit Fahrleitung	km	250	1800	4000
3. Übertragungsleitungen (27, 55, 110 kV)				
Betriebslänge	km	135	670	1380
4. Energiequellen:				
Zahl der Werke		3	9	11
Zahl der Maschinensätze		7 ¹⁾	25 ¹⁾	33
Generator-Dauerleistung insgesamt	MVA	13	122	235
5. Bahn-Unterwerke:				
Zahl der Werke		4	16	29
Zahl der Umspanner		7	40	69
Umspanner-Dauerleistung insgesamt	MVA	7	130	365
Direkte Fahrleitungsspeisepunkte in Kraftwerken		2	3	2
6. Wechselstrom-Triebfahrzeuge:				
Zahl		36	310 ²⁾	471
Gesamtleistung	MVA	19	487 ²⁾	890
7. Betriebsleistungen:				
Milliarden Bruttotonnen-km je Jahr	GBtkm	0,17	4,6	17,5
d. s. vom Gesamtverkehr der ÖBB	%	1,5	25,0	65,4
8. Energieverbrauch ab Kraftwerk:				
je Jahr	GWh	11,5	255	694
9. Spezifische Werte des elektrischen Betriebes:				
Spezifische Streckenbelastung Millionen	Bt/a	0,8	4,6	9,9
Spezifischer Energieverbrauch	Wh/Btkm	68	55	40
Jahresverbrauch je Triebfahrzeug	GWh/Lok	0,31	0,82	1,48
Jahresleistung je Triebfahrzeug	Mill. Btkm/Lok	4,7	14,8	37,2
Jahresbenutzungsdauer der installierten Leistung ³⁾				
der Kraftwerke	h	890	2100	3130
der Unterwerke	h	900	1700	1750
der elektrischen Triebfahrzeuge	h	500	430	620
10. Bedarf an Steinkohle zur Führung der angegebenen Betriebsleistungen mit Dampflokomotiven				
Steinkohle 1000 t		25	600	1600

¹⁾ Im Umformerwerk Simmering wurde nur ein Umformer gerechnet, da der zweite für die Speisung der Überlandstrecke der Lokalbahn Wien—Baden bestimmt war.

²⁾ Davon waren bei Kriegsende 28 Stück mit 33,4 MW Leistung durch Kriegseinwirkung zerstört oder sonst betriebsuntauglich.

³⁾ Unter Berücksichtigung des Energieaustausches und mittlerer Übertragungswirkungsgrade sowie der Abgabe der direkten Speisepunkte.

der Kraftwerke im Jahre 1918, die aber zum Teil durch den stärkeren Einfluß der direkten Werksspeisepunkte in den kleinen Netzen auf die Streckenspeisung zu erklären ist — ein Ausdruck der bekannten Tatsache, daß mit steigender Netzgröße die das Netz speisenden Anlagen immer besser ausgenützt werden, während für die Verbraucher eher ein kleinerer Gleichzeitigkeitsfaktor einzusetzen ist. Dies zeigt sich auch in den Werten der Jahresbenutzungsdauer der installierten Leistungen (Pkt. 9), die sich in den Kraftwerken durch die Ausdehnung des Netzes wesentlich verbessert hat, bei den Unterwerken dagegen bereits merklich tiefer liegt und sich bei den elektrischen Triebfahrzeugen mit unwesentlichen Änderungen auf einem außerordentlich niedrigen Wert hält. Diese niedrige Benutzungsdauer der installierten Lokomotivleistung wird aber erklärlich, wenn man sich die Belastungsart der Lokomotiven vor Augen hält. Diese sind während jeder Zugsanfahrt bis an die zulässige Grenze belastet, weisen aber nur bei der Bergfahrt auf Steilrampen eine beträchtliche Dauerbelastung auf, während sie sonst nach dem Erreichen des Beharrungszustandes im Zuglauf auf niedrige Leistungswerte absinken und in der Auslauf- und Bremsperiode sowie während des Stillstandes des Zuges auf die ganz geringen Werte der Eigenbedarfsbelastung zurückgehen. Die niedrige Benutzungsdauer bzw. die dieser entsprechende, große installierte Leistung der elektrischen Triebfahrzeuge macht den hohen Anteil (etwa 50%) ihrer Kosten an den Gesamtaufwendungen für die Elektrifizierung einer Eisenbahn verständlich. Sie verlangt einen möglichst einfachen und billigen Aufbau der Triebfahrzeuge, eine Forderung, die vor allem bei mehrfacher Energieumsetzung auf der Lokomotive, etwa durch Stromumformung, besonderer Berücksichtigung bedarf. Die bessere Ausnützung der Anlagen hat einen nicht unwesentlichen Anteil an der Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs (Pkt. 9), der von 68 Wh/Btkm, gerechnet ab Kraftwerk, bei den ersten Lokalbahnen auf 40 Wh/Btkm im Durchschnitt des heutigen Netzes gesunken ist. Die dabei eingetretene Verbesserung der betrieblichen Ausnützung der elektrischen Triebfahrzeuge zeigt sich sehr deutlich in der Steigerung der jährlich von einem Triebfahrzeug geförderten Bruttotonnenkilometer und des auf eine Lokomotive im Jahr entfallenden Energieverbrauchs. Schließlich sei noch darauf verwiesen, daß die Ziffern des Bedarfs an Steinkohle, die zur Führung eines dem elektrischen Betriebe entsprechenden Dampfverkehrs benötigt würden (Pkt. 10) — manchmal nicht ganz richtig, aber anschaulich als Kohlenersparnis bezeichnet — fiktive Werte darstellen. Denn einerseits wären manche Streckenabschnitte, vor allem die Gebirgsstrecken, in ihrem derzeitigen Bauumfang gar nicht in der Lage, die heute elektrisch geführten Verkehrsleistungen in einem Dampfbetrieb zu bewältigen, andererseits sind die Ziffern des Kohlenbedarfs zur Vermeidung sehr umständlicher und dabei doch auf manche Annahmen aufbauender Rechnungen vom Verbrauch an elektrischer Energie abgeleitet, werten wenigstens zum Teil also unberechtigterweise die Vorteile der Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs auch für sich. Es muß also richtigerweise gesagt werden, daß für einen derartigen fiktiven Dampfbetrieb hohe Kosten für eine Steigerung der Leistungs-

fähigkeit mancher Streckenabschnitte aufzuwenden wären, und daß der Kohlenverbrauch trotzdem noch beträchtlich höher als die angegebenen Ziffernwerte wäre.

Nun soll noch kurz die Entwicklung der wesentlichsten Anlageteile des elektrischen Betriebes der Österreichischen Bundesbahnen während der verflossenen 50 Jahre betrachtet werden.

In der ersten Zeit der elektrischen Zugförderung war naturgemäß für jede der isoliert liegenden, elektrisch zu betreibenden Strecken eine besondere Energiequelle erforderlich, zumal damals genügend leistungsfähige Landesversorgungsnetze fast völlig fehlten, aus denen die Bahnenergie hätte entnommen werden können. Bei den weiteren Elektrifizierungsarbeiten der Bundesbahnen wurden die Kraftwerke zunächst ebenfalls nahe dem betreffenden Teil des Bahnnetzes errichtet; daraus ergab sich beim Zusammenschluß der einzelnen Strecken zu größeren Netzen eine weiträumige Verteilung der Energiequellen, die sich betrieblich als sehr günstig erwies. Die Größe des Bahnversorgungsnetzes ließ es nach dem zweiten Weltkriege zweckmäßig erscheinen, eine Kupplung mit dem inzwischen ebenfalls ganz Österreich umfassenden Landesversorgungsnetz zu schaffen, um einen gegenseitigen Austausch von Energie zu ermöglichen und durch den Parallelbetrieb der Wasserkraftmaschinen mit den Umformern eine vollkommene Ausnützung des Energieangebotes bei möglichst kleiner Maschinenreserve zu gestatten. Aus diesen Überlegungen heraus wurde in die Planung des Jahres 1945 ein großes Umformerwerk aufgenommen; es war durch die Lage der Energieschwerpunkte beider Netze klar, daß ein solches Umformerwerk am zweckmäßigsten im Raum von Wien aufzustellen war. Die Richtigkeit der Überlegungen und die energiewirtschaftlichen Vorteile haben sich seither im Betrieb deutlich erwiesen.

Eine der wesentlichen Aufgaben der Eisenbahnelektrifizierung war von Anfang an die Verwertung der Wasserkräfte zur Energieerzeugung. Nun schwankt das Dargebot des natürlichen Wasserzulaufes mit der Jahreszeit sehr stark, und zwar steht in Österreich einer starken Wasserführung im späteren Frühjahr und im Sommer Wassermangel im Winter gegenüber, wobei das Minimum der Wasserführung in der Regel etwa im Monat Februar erreicht wird. Der Energiebedarf der elektrischen Traktion verteilt sich dagegen etwa gleichmäßig über das ganze Jahr. Es wäre nun höchst unwirtschaftlich und eine Vergeudung des verfügbaren Wassers, wollte man die Wasserkraftwerke so ausbauen, daß sie auch bei der geringsten Wasserführung ihre volle Leistung abgeben können, die Laufkraftwerke müssen vielmehr beträchtlich größer gebaut werden. Dies hat aber zur Folge, daß sie nur durch einige Monate die ihrer Ausbauleistung entsprechende Wassermenge zur Verfügung haben, in der übrigen Zeit dagegen nicht voll ausgelastet werden können. Zum Ausgleich zwischen Energiebedarf und Energieangebot in der wasserarmen Zeit dienen im Bahnnetz Speicherkraftwerke, die in der Zeit der höheren Wasserführung das zufließende Wasser in Jahresspeichern sammeln, das dann in der Zeit des Wassermangels in den Laufkraftwerken zusätzlich zum natürlichen Zulauf abgearbeitet werden kann. Die Bundesbahnen verfügen derzeit über zwei Gruppen von Speicherseen, näm-

lich über die Speicher der Stubachgruppe — Tauernmoossee, Weißsee, Amersee und Salzplattensee — und der Kraftwerksgruppe Klostertal (Spullersee). In beiden Werksgruppen kann das Speicherwasser in mehreren hintereinanderliegenden Kraftwerken ausgenützt werden. Es wird dadurch in beiden Gruppen möglich, das Speicherwasser über ein Gefälle von fast 1 200 m zu verarbeiten, so daß aus jedem Kubikmeter Speicherwasser mehr als 2,3 kWh gewonnen werden können. Die Hintereinanderschaltung mehrerer Werke zu einer Kraftwerkskette bringt noch den Vorteil, daß die unterliegenden Stufen außer dem Speicherwasser auch noch das in ihrem Einlaufhorizont zufließende Laufwasser ausnützen können. Es ist also nur das oberste Werk der Kraftwerkskette ein reines Speicherkraftwerk, während die darunter liegenden Werke kombinierte Speicher-Laufkraftwerke darstellen. Um die Werke einer Kraftwerkskette in gewissen Grenzen selbständig regeln zu können, haben die unterliegenden Werke Tagesausgleichsspeicher oder, wo deren Anordnung aus örtlichen Gründen nicht möglich war, große Speicherwasserschlämmer erhalten. Diese Maßnahme gestattet einen freizügigeren Einsatz der Maschinenleistung der einzelnen Werke und die Abgabe von kurzzeitigen Leistungsspitzen auch durch die unterliegenden Werke. Aus dem letztgenannten Grund erhielten auch die reinen Laufwerke kleinere Speicherwasserschlämmer. Die Speicherseen im Stubachtal wurden durch eine Seilbahn vom Enzingerboden über den Tauernmoossee zum Weißsee ganzjährig wettersicher zugänglich gemacht; auf dieser Seilbahn wurde auch der öffentliche Personen- und Güterverkehr zugelassen. Vom Bahnhof Wald bis zum Wasserschloß des Spullerseewerkes auf

der Grafenspitze wurde eine nur für den Dienstverkehr bestimmte Kleinseilbahn errichtet.

Die Wasserkraftwerke für die Bahnstromversorgung sind bisher durchwegs Hochdruckanlagen mit Freistrahlturbinen. Die Rohgefälle der Werke liegen dabei zwischen 186 und 834 m; das letztgenannte, beim Kraftwerk Spullersee ausgenützte Gefälle war durch viele Jahre die größte in Österreich verwendete Fallhöhe und sichert dadurch diesem Werk einen besonderen Platz in der Entwicklungsgeschichte der Wasserkraftnutzung in Österreich. Die Turbinenleistung wuchs im betrachteten Zeitraum von 1 000 bis auf 16 000 PS je Maschinensatz an, die Generatordauerleistung stieg dabei von weniger als 1,0 auf 12,5 MVA. Bemerkenswert ist dabei, daß anfänglich die Turbinenleistung sehr groß im Verhältnis zur Generatordauerleistung gewählt wurde, um die Abgabe von Leistungsspitzen zu sichern. Auf Grund der Betriebserfahrungen ist man davon seither abgegangen, weil durch die Blindlastabgabe ein Ausgleich geschaffen wird; Spitzenbelastungen sind eben nie reine Wirklastspitzen. Eine besondere Stellung unter den Wasserkraftwerken der Bundesbahnen nimmt das Kraftwerk Braz ein, war es doch das erste Kavernenkraftwerk Österreichs; — diese in der Schweiz und in Italien bereits vielfach mit Erfolg ausgeführte Bauart wurde hier wegen der beengten Platzverhältnisse im Bereich des Krafthauses verwendet, wobei noch ein Gewinn an Fallhöhe und damit an Leistung und Arbeit von über 10% erzielt werden konnte.

Die im Umformerwerk Auhof aufgestellten Maschinensätze waren zur Zeit der Bestellung die größten ihrer Art in Europa; sie stellten eine Pionierleistung der Lieferfirmen dar, die seither auch Bahnverwaltun-

Tabelle II. Bahnstrom liefernde Kraftwerke
(Verbundnetz der ÖBB, Stand 1961)¹⁾

Kraftwerk	Betriebs- eröffnung Jahr	Einzugs- gebiet km ²	Speicher- vermögen Millionen m ³	Rohfall- höhe m	Nutzfall- höhe m	Generator- dauer- leistung MVA	Jahres- arbeits- vermögen GWh
Bahneigene Wasserkraftwerke:							
Schönberg	1912	28,3	—	186	176	11,6	45
Spullersee	1925	15,2	13,3 ²⁾	834	794	22,3	26
Enzingerboden	1929	32,9	44,0 ³⁾	538	525	31,7	70
Obervellach	1929	131,4	—	333	320	19,6	75
Schneiderau	1940	52,5	44,0 ³⁾	428	420	25,0	90
Uttendorf	1950	88,5	44,0 ³⁾	245	230	30,0	70
Braz	1953	87,3	13,3 ²⁾	326	304	30,0	90
Bahnfremde Wasserkraftwerke							
Steeg (OKA)	1924	96,0	— ⁴⁾	190	180	16,5	40
Achensee (Tiwäg)	1927	218,1	— ⁵⁾	363	356	3,0	9
Wasserkraftwerke							
Bahneigenes Umformerwerk Auhof	1955	—	—	—	—	65,0	300
Summe						254,7	815

¹⁾ Ohne Kraftwerk Wienerbruck, das außerhalb des Verbundnetzes läuft.

²⁾ Spullersee

³⁾ Tauernmoossee, Weißsee, Amersee und Salzplattensee.

⁴⁾ Gosausee anteilig.

⁵⁾ Achensee anteilig.

gen im Ausland zur Aufstellung von Umformern dieser Größenordnung anregte. Es handelt sich dabei um Asynchron-Synchronumformer mit Scherbiusregelsätzen, durch die beide Netze elastisch mit einer zulässigen gegenseitigen Frequenzschwankung bis etwa 8% gekoppelt werden; zwei der Umformer besitzen eine Dauerdurchgangsleistung von je 21 MW, der dritte kann bei gleicher baulicher Größe 24 MW dauernd leisten. Die Regeleinrichtungen gestatten es, automatisch oder von Hand aus die durchgehende Wirkleistung und die Blindleistung beider Netze entsprechend den verschiedenen Betriebsfällen zu regeln. Normalerweise bezieht das Bahnnetz Energie aus dem Landesnetz, doch ist auch der Energietransport in der Gegenrichtung möglich, was bei Störungen und zur Notaufhilfe bedeutsam ist. Energiewirtschaftlich wird das Bahnnetz so betrieben, daß jedenfalls die gesamte anfallende Energie der Wasserkraftwerke bestmöglich ausgenützt und der zusätzliche Energiebedarf dann über die Umformer bezogen wird. Dabei werden aber nach einem Jahresplan die Umformer möglichst gleichmäßig eingesetzt und die Spitzendeckung wird den Speicherkraftwerken überlassen.

Die Schaltanlagen der ersten Bahnkraftwerke waren reine Gebäudeanlagen; bald nach dem ersten Weltkrieg begann man jedoch auch in den gefährdeten Hochgebirgslagen, etwa in den Kraftwerken Obervellach und Enzingerboden, zunächst die Hauptumspanner im Freien aufzustellen. Die Kraftwerke Achensee und Schneiderau sowie alle später erbauten Anlagen erhielten dann vollständige Freiluftschaltanlagen; auch in einigen älteren Werken, wie Schönberg, Obervellach und Enzingerboden, wurden anläßlich von Erneuerungs- oder Erweiterungsarbeiten Freiluftschaltanlagen anstelle der bisherigen Gebäudeanlagen errichtet.

In der Tabelle II sind einige Angaben über die Bahnkraftwerke zusammengestellt. Hierzu ist zu bemerken, daß durch den Ausbau der Speicher im Stubachtale nach dem zweiten Weltkrieg das Speichervermögen mehr als verdoppelt werden konnte. In der Kraftwerksgruppe Klostertal wird eine Vergrößerung des Speichervermögens durch Erhöhung des Stauzieles des Spullersees und Ausbau des Formarinsees zum zweiten Speicher der Werksgruppe derzeit vorbereitet. Durch Einbau weiterer Maschinensätze in den Kraftwerken konnte die im Bahnnetz verfügbare Maschinenleistung weiter gesteigert werden. Außer den bahn-eigenen Kraftwerken liefern auch zwei bahnfremde Wasserkraftwerke — die beiden Jahresspeicherwerke Achensee und Steeg — Energie in das Bahnnetz; hier laufen eigene Bahnmaschinensätze, die im Rahmen der verfügbaren Maschinenleistung und der bestehenden Lieferverträge eine verlustlose Kupplung der beiden Stromnetze ergeben. Wenn man für das Umformerwerk Auhof eine Jahresbenutzungsdauer von 4 000 bis 5 000 h rechnet, stehen im Verbundnetz der Bundesbahnen derzeit rund 800 GWh bereit, denen ein Energiebedarf, einschließlich der Nebenleistungen, von etwa 730 GWh gegenübersteht. Zur Deckung des mit der Weiterelektrifizierung des Bahnnetzes wachsenden Energiebedarfes ist der Bau des Gemeinschaftskraftwerkes St. Pantaleon an der untersten Enns und außerdem zunächst die Ausgestaltung der bestehenden Bahnkraftwerke vorgesehen.

Auch die Bahnunterwerke waren in der ersten Zeit reine Gebäudeanlagen, doch wurde bald eine Ausführung gewählt, bei der die Oberspannungsschaltanlage und die Hauptumspanner im Freien, dagegen die unterspannungsseitige Fahrleitungsschaltanlage, die Hilfsbetriebe und die Schaltwarte in einem entsprechend



Abb. 4. Bahnkraftwerk Braz, Freiluftschaltanlage

klein gewordenen Gebäude untergebracht wurden. Diese Halb-Freiluft-Bauweise ist heute die Regelausführung, lediglich für die Unterwerke, die im Stadtbereich von Wien liegen, wurde bei einer Oberspannung von 55 kV die Gebäudebauart beibehalten. Die Umspannerleistung, die in den ersten Anlagen 0,9 MVA war, stieg bald auf 2,6 ... 3 MVA, heute werden einheitlich Um-



Abb. 5. Bahntransformerwerk Auhof, Maschinensaal

spanner mit 6,5 MVA Dauerleistung verwendet. Die Zahl der Umspanner, die anfangs oft nur ein Stück je Unterwerk war, ist seither auf zwei bis drei gesteigert worden; außerdem ist in jedem neueren Unterwerk eine Anschlußstelle für ein fahrbares Unterwerk eingerichtet. Diese fahrbaren Unterwerke bestehen aus

einem Umspanner für 6,5 MVA Dauerleistung, der gemeinsam mit den ober- und unterspannungseitigen Schaltern und einer kleinen, vom nächsten Unterwerk fernbedienbaren Schaltanlage auf einem sechsachsigen Wagen montiert ist; sie können je nach Bedarf als Ersatz für etwa gestörte Unterwerksumspanner oder als

mit der Vergrößerung des Netzes außerordentlich stark angestiegenen Netzkurzschlußleistung zu genügen.

Zur Verbindung der Kraftwerke untereinander und mit den die Fahrleitung speisenden Unterwerken sind die Übertragungsleitungen bestimmt. Im Bahnnetz ist abweichend vom Regelfall der Landesversorgung keine eindeutige Energieflußrichtung vorhanden, der Belastungsschwerpunkt wandert vielmehr je nach der Verkehrslage im ganzen Netz rasch umher und dementsprechend ändert sich auch in allen Leitungen des Netzes der Energiefluß nach Größe und meist auch nach Richtung fortwährend. Neben der Aufgabe des Energietransportes treten also im Bahnübertragungsnetz besonders stark der Ausgleich und Austausch der Energie zwischen den einzelnen Netzteilen in den Vordergrund. Während die erste Bahnübertragungsleitung der Mariazellerbahn mit 27 kV betrieben wurde, erhielt die Mittenwaldbahn die Übertragungsspannung von 55 kV. Diese Spannung wurde auch für die weitere Bahnelektrifizierung westlich von Salzburg beibehalten, einerseits weil man die vorhandenen Anlagen der Mittenwaldbahn mitbenützen wollte, außerdem aber weil man in den besonders schwierigen Leitungsabschnitten der Überquerung des Arlbergs und der Hohen Tauern Kabelleitungen durch die Eisenbahntunnels führen wollte. Als oberste zulässige Spannungsgrenze für die damals ausschließlich verwendeten Massekabel galt aber der Wert von etwa 60 kV, der somit ebenfalls die Beibehaltung der bereits vorhandenen Spannung empfehlenswert erscheinen ließ. Ungünstige Erfahrungen mit solchen Kabeln, die gerade in der Zeit des Baubeschlusses aus dem Auslande bekannt wurden, führten dann aber dazu, daß man die Leitung über den Arlberg trotz der dabei zu überwindenden Höhenlage bis über 2 000 m als Freileitung erbaute und zunächst nur eine kurze Versuchsstrecke an einer leicht zugänglichen Stelle, nämlich in der Nähe von Feldkirch, als Kabel ausführte. Auf Grund der dabei gemachten guten Betriebserfahrungen wurde dann die Tauernleitung als Massekabel durch den Tauern-tunnel verlegt. Die Übertragungsleitungen für 55 kV waren fast durchwegs einschleifig gebaut und besaßen Leiterquerschnitte zwischen 35 und 95 mm² Kupfer oder leitwertgleiche Aluminiumseile. Diese Bemessung erwies sich im Betriebe bald als zu knapp, da vor allem bei den ersten noch rein auf theoretischen Überlegungen beruhenden Entwürfen offensichtlich der Einfluß des vorerwähnten Energieausgleichs zu wenig berücksichtigt worden war. Als im Jahre 1937 die Fortsetzung der Elektrifizierung bis nach Wien grundsätzlich beschlossen wurde, legte man in Erkenntnis dieser Tatsache und wegen der beträchtlich größeren Transportweiten die Übertragungsspannung mit 110 kV fest und baute außerdem die Übertragungsleitungen nunmehr grundsätzlich zweischleifig mit Seilquerschnitten von 150 mm² Kupfer, bzw. heute bis zu 300 mm² Stahlaluminium. Dadurch wurde die Übertragungsfähigkeit der Leitungen auf ein Vielfaches der früheren Leistung erhöht und außerdem wurden damit die Übertragungsverluste ganz wesentlich vermindert. Durch die Erweiterung des Netzes und durch den Bau neuer Kraftwerke, insbesondere des Kraftwerkes Braz, waren die alten Übertragungsleitungen über den Arlberg, aber auch über die Tauern völlig unzureichend



Abb. 6. Bahnunterwerk Selzthal

Verstärkung an vorübergehend stärker belasteten Punkten des Bahnnetzes eingesetzt werden. Die Unterwerksleistung stieg damit von 0,9 zunächst auf etwa 6 MVA und beträgt heute 13...19,5 MVA. Infolge des Anwachsens der spezifischen Streckenbelastung ist dagegen die Entfernung der Unterwerke voneinander, die anfangs etwa 35 km betrug, meistens nicht mehr als



Abb. 7. Übertragungsleitungen für 110 kV (links) und 55 kV (rechts) bei Stuben am Arlberg

auf das Doppelte gestiegen. Anstelle der Ölschalter, die anfangs ausschließlich als Leistungsschalter Verwendung fanden, sind nunmehr modernere Bauarten bis zu den Druckluftschaltern getreten, wobei die höchste Abschaltleistung der Fahrleitungsschalter für 15 kV von etwa 100 MVA auf 700 MVA angewachsen ist, um der

geworden. Sie mußten daher durch neue leistungsfähigere Leitungen ersetzt werden, die nun ebenfalls 110 kV Betriebsspannung erhielten. Im Zuge der Leitungen für 110 kV wurde mehrfach die Einschaltung von Kabelstrecken nötig. Hier stehen zum Teil Ölkabel, zum Teil Gasdruckkabel in Verwendung; mit beiden Bauarten konnten bisher gute Erfahrungen gemacht werden. Die Verwendung einer höheren Übertragungsspannung als 110 kV hat sich trotz der großen Längenausdehnung des Netzes mit Rücksicht auf die günstige Verteilung der Energiequellen, die Größe der zu übertragenden Leistungen und nicht zuletzt auch dank der besonders günstigen Übertragungseigenschaften des niederfrequenten Wechselstromes als nicht erforderlich gezeigt. Durch diese Entwicklung des Hochspannungsnetzes wurde es erreicht, daß die Übertragungsverluste prozentuell auf weniger als die Hälfte zurückgingen und nunmehr Werte erreicht haben, die vom energiewirtschaftlichen Standpunkt eine beträchtliche Freizügigkeit in der Wahl des Standortes der Energiequellen innerhalb des Netzes zulassen. Erwähnenswert ist es, daß die Übertragungsleitungen mit 55 kV Betriebsspannung einen starr geerdeten Nullpunkt besitzen, während im 110-kV-Netz die Erdschlußlöschung mit Petersenspulen verwendet wird.

Einen für die elektrische Zugförderung besonders charakteristischen Bauteil stellt die Fahrleitung dar. Sie hat den elektrischen Triebfahrzeugen die von ihnen benötigte Energie an jeder Stelle der Bahn zuzuleiten, und zwar sowohl dem stehenden wie dem mit der höchstzulässigen Geschwindigkeit fahrenden Fahrzeug in gleich verlässlicher Weise, vor allem möglichst ohne Unterbrechung. Diese Bedingungen stellen an die Stromübergangskontakte, also einerseits an den Fahrdrabt, andererseits an den Stromabnehmer des Fahrzeuges, besondere Anforderungen. Der Fahrdrabt muß unabhängig von der Temperatur und den sonstigen Witterungsverhältnissen möglichst gleichmäßig hoch über dem Gleise liegen. Er darf dabei aber nicht genau über der Gleismitte verlegt sein, weil sonst die Gefahr besteht, daß er auf geraden Strecken eine Rille in den Gleitkontakt des Stromabnehmers einschneiden könnte (diese Bedingung gilt natürlich nicht für die bei den Bundesbahnen allerdings nicht verwendeten Rollenkontakte und Gleitschuhe). Der Fahrdrabt darf aber andererseits auch bei ungünstigsten Verhältnissen, etwa bei starkem Seitenwind, den Bereich der Gleitbahn des Stromabnehmers nicht verlassen. Der Stromabnehmer wird mit einer bestimmten, möglichst gleichbleibenden Anpreßkraft — die bei den Bundesbahnen auch für Doppelschleifstücke nicht über etwa 7 kp gehen soll — gegen den Fahrdrabt gedrückt. Dieser wird dadurch etwas angehoben und damit dies möglichst gleichmäßig geschieht, soll die Masse der anzuhebenden Fahrleitungskonstruktion über die ganze Länge tunlichst gleichmäßig verteilt sein. Dies erfordert an den Befestigungspunkten der Fahrleitung und im Bereich der Isolierstücke im Fahrdrabt, der Streckentrenner, besondere Maßnahmen, damit sie nicht als Massenanhäufung zum Anschlagen oder Abschleudern des Stromabnehmers führen. Ebenso sind Änderungen der Höhenlage der Fahrleitung nur mit entsprechend langen Übergangsstrecken zulässig. Bei all diesen Anforderungen, deren Einfluß mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit

rasch wächst, muß die Fahrleitung aber robust, gegen äußere Einwirkungen möglichst wenig empfindlich und einfach im Aufbau und in der Erhaltung bleiben, Bedingungen, die sich vielfach widersprechen und daher zu Kompromißlösungen zwingen. Hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften ist dabei zu beachten, daß der Fahrleitungsstromkreis der elektrischen Eisenbahnen durch die als Rückleitung verwendeten Schienen einpolig geerdet ist. Diese Anordnung bewirkt sehr häufig Kurzschlüsse — jeder der im Betrieb oft vorkommenden Erdschlüsse im Fahrleitungsnetz ist eben ein Kurzschluß —, die somit als betriebsmäßige Ereignisse anzusprechen sind und denen alle Teile des Stromkreises, vor allem die Leistungsschalter und die Umspanner in den Unterwerken, gewachsen sein müssen. An den Stromübergangsstellen von der Fahrleitung zum Stromabnehmer muß für die rasche Abführung der entstehen-



Abb. 8. Einheitsfahrleitung der ÖBB (Abspannung)

den Stromwärme gesorgt werden, außerdem muß die Funkenbildung an der Übergangsstelle möglichst unterdrückt werden, weil diese Funken zu den unangenehmsten Störungsquellen für den Rundfunkempfang gehören und natürlich außerdem Fahrdrabt und Stromabnehmer stark beanspruchen. Die Verdopplung der Stromabnahmestellen — entweder zwei Stromabnehmer oder ein solcher mit doppeltem Schleifstück je Fahrzeug — verbessern die Stromabnahme bedeutend, ebenso die Verwendung von Kohleschleifstücken, die aber wieder den Nachteil ungünstiger Wärmeabfuhr mit sich bringen. Auch hier ist man also auf eine Kompromißlösung angewiesen.

Schon auf der Mariazellerbahn wurde eine Fahrleitungsbauart verwendet, bei der der an einem Tragseil mittels eines Hilfstragdrahtes in möglichst kurzen Abständen aufgehängte Fahrdrabt zur weiteren Vergleichmäßigung seiner Lage und zum Ausgleich der Längenänderungen durch Temperaturschwankungen mit Gewichten nachgespannt war. Aus der Erprobung verschiedener Bauarten und Konstruktionsgedanken entwickelten die Bundesbahnen schließlich gemeinsam mit den beteiligten Firmen eine Einheitsbauart ihrer Fahrleitung, die sich nunmehr seit mehr als 30 Jahren gut bewährt, dabei aber selbstverständlich sich in ständiger Weiterentwicklung befindet. Die wesentlichen Merkmale dieser Konstruktion sind die Gewichtsnach-

spannung der gesamten aus Fahrdrabt und Tragseil bestehenden Fahrleitungskette, deren Befestigung auf schwenkbaren Auslegern an den Masten und die Anordnung der Isolation seitlich vom Gleis, so daß bei gemischtem Dampf- und elektrischem Betrieb die Isolatoren gegen Verrußung soweit als möglich geschützt sind. Die Fahrleitung wird in etwa 1...1,5 km lange Abschnitte unterteilt, die jeweils in der Mitte festgehalten und an beiden Enden durch Gewichte nachgespannt werden. Die Regelentfernung der Fahrleitungsmaste beträgt in der Geraden 75 m und wird in den Kurven entsprechend verkleinert. In den Bahnhöfen wird vielfach an Stelle der Einzelmastaufhängung eine solche an Querjochen verwendet, um den Platz zwischen den Gleisen nicht durch Maste verstellen zu müssen. Auf zweigleisigen Strecken sind die Fahrleitungen beider Gleise grundsätzlich elektrisch und möglichst auch mechanisch voneinander getrennt, damit bei Arbeiten an einer Fahrleitung jene des zweiten Streckengleises betriebsfähig bleiben kann.

Die Fahrleitung besteht aus einem Kupferdraht, der mit Hilfe von Hängeseilen an einem Tragseil befestigt ist. Fahrdrabt und Tragseil werden beiderseits wie bereits erwähnt durch Gewichte nachgespannt. Der Querschnitt des Fahrdrabtes beträgt über den Hauptgleisen 100 mm², über Bahnhof-Nebengleisen 65 mm². Als Tragseil wurde ursprünglich ein Stahlseil von 35 mm² Querschnitt verwendet; dieses Seil wurde durch Korrosion verhältnismäßig rasch unbrauchbar, der Versuch einer Konservierung durch Farbanstrich hat sich wegen der Schwierigkeiten der Aufbringung und der Erhaltung dieses Anstriches nicht bewährt. Man hat daher späterhin an Stelle der Stahlseile Bronzeseile von 50 mm² Querschnitt und in letzter Zeit auch entsprechende Custa-Seile verwendet (das Custa-Seil = Kupfer-Stahlseil ist ein Seil aus Drähten mit Stahlseele und Kupfermantel, die nach einem Patent der Kärntnerischen Eisen- und Stahlwerke AG in Ferlach aus einem mit Kupfer überzogenen Stahlblock in einem besonderen Ziehverfahren erzeugt werden). Der Fahrdrabt wird derzeit mit 1 000 kg, das Tragseil mit 900 kg gespannt. Durch die darüber gleitenden Bügel wird der Fahrdrabt naturgemäß abgenützt; wenn diese Abnutzung eine Querschnittsverminderung von 25% bewirkt hat, muß der Fahrdrabt ausgewechselt werden, doch ist dies nach den bisherigen Erfahrungen bei entsprechend sorgfältiger Verlegung der Fahrdrähte auch auf stark befahrenen Strecken erst nach jahrzehntelanger Verwendung zu erwarten, insbesondere wenn auf dem Lokomotivstromabnehmer Kohleschleifstücke verwendet werden. Nur ein schiefliegender Profildrabt wird erfahrungsgemäß unverhältnismäßig viel rascher abgenützt. Zur Erhöhung der Lebensdauer des Fahrdrabtes fertigt man ihn nicht aus dem ursprünglich vorgesehenen hartgezogenen Reinkupfer, sondern aus einem Kupfer mit Kadmiuszusatz, der aber 0,5% nicht überschreiten darf, um den Fahrdrabt nicht zu spröde werden zu lassen. Im Laufe der Erzeugung des Fahrdrabtes verbrennt dabei ein Teil des zugesetzten Kadmiums, so daß im fertigen Fahrdrabt weniger als 0,25% Kadmium enthalten sind. Die Fahrleitung wird an den Masten mit Hilfe von Schwenkauslegern befestigt, die dem Fahrdrabtzug nachgeben können und an deren Drehpunkt als Isolation der Fahrleitung durchschlags-

sichere Vollkernisolatoren angeordnet sind. Durch die besondere Ausbildung der Fahrdrahtaufhängung (leichte Hilfsausleger, Ypsilon-Hänger und ähnliche Maßnahmen) konnte die Fahrleitung der Einheitsbauweise der Bundesbahnen für Geschwindigkeiten bis etwa 140 km/h einwandfrei befahrbar gemacht werden. Als Tragmaste für die Fahrleitung wurden ursprünglich ausschließlich Eisengittermaste, späterhin auch Maste aus Breitflanschprofilen oder Altschienen verwendet. In den letzten Jahren setzten sich als Streckenmaste die Stahlbetonmaste durch, wobei anfangs Schleuderbetonmaste versucht wurden, heute aber ausschließlich Maste aus schlaffbewehrten Rüttelbeton Verwendung finden. Für die Überspannung mehrerer Gleise, etwa in Bahnhöfen, wurden anfangs Stahljoche verwendet, heute dagegen ausschließlich die viel leichteren und die Sicht weniger behindernden Querseiljoche. Das früher geübte Einbetonieren der Fahrleitungsmaste wurde verlassen, die Streckenmaste jeder Bauart werden vielmehr in vorher fertiggestellte, vielfach sogar in Werkstätten vorgefertigte Hohlfundamente eingesetzt, während die großen Gittermaste der Bahnhofsanlagen mittels einbetonierter Ankerschrauben auf die Fundamente aufgeschraubt werden. Durch diese Maßnahmen ist es möglich geworden, die Maststellarbeiten von der Herstellung der Fundamente arbeitsmäßig zu trennen und die Maste reihenweise mit dem Schienenkran zu stellen, wodurch die Streckenarbeiten und damit auch die Behinderungen des Bahnbetriebes während des Baues ganz wesentlich vermindert werden können. Auch die Auswechslung von Masten wird dadurch wesentlich erleichtert.

Um die verfügbare Energie im Bahnnetz richtig auszunützen und den Maschineneinsatz den Erfordernissen des Betriebes anpassen zu können, ist eine ständige Überwachung des Netzzustandes erforderlich. Zu diesem Zweck haben die Bundesbahnen in Innsbruck einen Lastverteiler eingerichtet, der in seinen Anfängen auf die Einrichtungen zur Betriebsüberwachung der Mittenwaldbahn zurückgeht und der seither systematisch ausgebaut wurde. Heute werden dem Lastverteiler von allen Kraft- und Unterwerken des Netzes die für den Netzbetrieb wesentlichen Meßwerte durch Fernübertragung zugeleitet und dort laufend aufgezeichnet und verarbeitet. Auf Grund dieser Unterlagen gibt dann der Lastverteiler den Werken die erforderlichen Aufträge für den Maschineneinsatz, für die Spannungsregelung und ähnliches mehr. Die selbsttätige ständige Überwachung des Schaltzustandes des Netzes sowie die Fernbetätigung der wichtigsten Schalter vom Lastverteiler aus steht seit längerem in Erprobung. Zur Prüfung der Einrichtungen und Apparate des Netzes wurde in Zirl bei Innsbruck eine elektrotechnische Versuchsanstalt eingerichtet, die neben Untersuchungen in ihren Meßräumen mit einem eigenen Meßwagen die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Fahrleitungen und der elektrischen Triebfahrzeuge überprüfen und örtliche Messungen in den Werksanlagen durchführen kann.

Im Jahre 1911 wurden für den elektrischen Betrieb der Mariazellerbahn 16 Elektrolokomotiven in Dienst gestellt. Jede hat 6 angetriebene Achsen mit etwa 8 t Achsdruck und weist eine Motorenleistung von 400 kW auf. Sie waren zur Zeit ihrer Indienststellung

die stärksten Triebfahrzeuge für die in Österreich verwendete, besonders enge Schmalspur von 760 mm. Alle diese 16 Lokomotiven stehen noch heute in Dienst und haben dabei insbesondere im elektrischen Teil keinerlei wesentliche Änderungen erfahren. Lediglich der Kasten-aufbau, die Bremsanlage und einige Hilfseinrichtungen wurden in letzter Zeit an einigen der Lokomotiven erneuert und modernisiert; diese Erneuerungsarbeiten werden nach und nach bei allen Lokomotiven durchgeführt werden, die dann wieder auf eine Reihe von Jahren voll dienstfähig sein werden. 50 Jahre ununterbrochener angestrenzter Streckendienst ist für die elektrischen Lokomotiven sicherlich ein sehr bemerkenswerter Erfolg. Auf der Mittenwaldbahn wurde eine Lokomotivbauart mit 3 angetriebenen Achsen und einer Laufachse verwendet; diese erste österreichische elektrische Vollbahnlokomotive steht heute nicht mehr in Dienst, da ihre geringe Geschwindigkeit von 40 km/h unzureichend geworden ist und ihre technisch sehr interessante Bauart (Antrieb durch Winter-Eichbergmotor) betrieblich wegen der zu hohen Erhaltungskosten nicht befriedigte. Dagegen stehen die im Jahre 1914 in Dienst gestellten Wechselstromlokomotiven der Preßburgerbahn mit einigen Modernisierungsmaßnahmen, im Grundsatz aber unverändert, heute noch in Betrieb.

Die erste nach 1918 neu beschaffte Elektrolokomotive war die Gebirgsschnellzugslokomotive der Reihe 1100 (heute Reihe 1089). Diese wohlgelungene, durch ihre gefällige Formgebung auffallende Bauart steht wie alle späteren Typen — einige vereinzelt gebliebene ausgesprochene Versuchsausführungen ausgenommen — noch heute in Dienst. Die Entwicklung der Lokomotivbauarten zeigt den gewaltigen Fortschritt, den man gerade auf diesem Gebiet in den letzten 50 Jahren machen konnte. Die erste Vollbahnlokomotive wies eine Stundenleistung von 620 kW auf, hatte eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h und eine Anfahrzugkraft von 11 t bei 14 t Achsdruck. Bei der ersten nach 1918 in Dienst gestellten Elektrolokomotive waren diese Werte schon auf 1 700 kW, 70 km/h, 22 t Anfahrzugkraft und 15 t Achsdruck gestiegen. Die im Jahre 1955 in Dienst gestellte sechssachsige Schnellzugslokomotive der Reihe 1010 weist eine Stundenleistung von 4 000 kW und eine Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h, eine Anfahrzugkraft von 28 t bei einem mit Absicht unter der zulässigen und bei anderen Bauarten auch erreichten Grenze von 20 t liegenden Achsdruck von nur 18,3 t auf. Während die ersten Lokomotivbauarten durchwegs den Stangenantrieb, also durch Treib- und Kuppelstangen verbundene Treibachsen, besaßen, ging man in der zweiten Hälfte der Zwanzigerjahre auf den Einzelachsenantrieb über, der heute für die Streckenlokomotiven allein ausgeführt wird; lediglich die Verschublokomotiven werden auch weiterhin mit Stangenantrieb gebaut. Neben den Elektrolokomotiven wurden bald auch elektrische Triebwagen in Dienst gestellt, also Triebfahrzeuge, die gleichzeitig auch als Personen- oder Gepäckfahrzeuge verwendet werden. Diese Triebwagen gestatten die Führung ganz leichter Zugseinheiten und dadurch eine Auflockerung, Beschleunigung und Verdichtung des Verkehrs, einen der wesentlichen betrieblichen Vorteile der elektrischen Zugförderung gegenüber dem Dampfbetrieb. Den Fort-

schritt in der Lokomotivkonstruktion im letzten halben Jahrhundert kann man am besten daraus erkennen, daß in dieser Zeit die Leistung je Triebachse von 200 auf fast 800 kW gesteigert werden konnte, wobei die spezifische Lokomotivleistung von 10 auf fast 50 kW



Abb. 9. Elektrolokomotive, Reihe 1089 (Baujahr 1923)

je Tonne Lokomotivgewicht, bei Triebwagen von 7 auf 18 kW/t gestiegen ist.

Dieser kurze Bericht über die Entwicklung der elektrischen Zugförderung im Bundesbahnnetz gibt wohl einen Begriff, daß es sich hier nicht mehr um eine nur in Sonderfällen angewendete Traktionsart handelt, sondern daß die Bundesbahnen dabei bereits soweit gekommen sind, die elektrische Traktion zur wesentlichen Grundlage ihrer gesamten Verkehrsabwicklung zu machen. Wenn das derzeit laufende Elektrifizierungsprogramm mit seinen in der Zwischenzeit eingetretenen Ergänzungen — wie sie insbesondere das Wiener Schnellbahnnetz darstellt — abgeschlossen sein wird, dann werden in etwa 8...10 Jahren die elektrisch betriebenen Strecken rund 43% des Gesamtnet-



Abb. 10. Elektrolokomotive, Reihe 1010 (Baujahr 1955)

zes umfassen, vom gesamten Verkehrsaufkommen der Bundesbahnen werden dann aber in diesem Teilnetz etwa 80...85% elektrisch gefördert werden. Der restliche Verkehr soll dann mit Dieseltriebfahrzeugen abgewickelt werden, die Dampflokomotiven werden zu

diesem Zeitpunkt aus dem Bundesbahnbetrieb völlig verschwunden sein.

Dies bringt uns nun zur dritten der eingangs gestellten Fragen, wieweit die elektrische Traktion die in sie gesetzten Erwartungen in dem abgelaufenen halben Jahrhundert erfüllt bzw. welche Vorteile sie gebracht hat.

Die erste Bahnelektrifizierung in Österreich wurde, wie schon erwähnt, in Angriff genommen, um die im Dampfbetrieb ungenügende Leistungsfähigkeit der gebirgigen Mariazellerbahn mit erträglichen Kosten erhöhen zu können. Die erwartete Leistungssteigerung konnte hier und auch auf allen später elektrifizierten Strecken tatsächlich erreicht werden. Denn die Er-

auf die Reisegeschwindigkeit und in gleicher Weise wirkt sich der Wegfall bzw. die wesentliche Verkürzung der Lokomotivpflegearbeiten während der Fahrt aus. Alle diese Umstände bewirken im elektrischen Betrieb eine bedeutende Erhöhung der Reisegeschwindigkeit aller Züge, besonders aber der bisher langsamfahrenden, und eine beträchtliche Steigerung der Leistungsfähigkeit der Strecken, die besonders auf Steilrampen ein Mehrfaches jener im Dampfbetrieb erreicht.

Die Elektrifizierung nach dem ersten Weltkrieg wurde hauptsächlich durch wirtschaftliche Überlegungen veranlaßt. Der wichtigste Punkt war dabei der Ersatz der Lokomotivkohle durch die Wasserkraft als Primärenergiequelle. Im Dampfbetrieb wäre es nur möglich gewesen, einen geringen Teil des gesamten Kohlenbedarfes durch einheimische Braunkohle und auch hier nur durch die ohnedies ziemlich knapp vorhandene hochwertige Stückkohle zu decken, während der Hauptteil des Kohlenverbrauches die Einfuhr ausländischer Steinkohle erfordert hätte. Die für den elektrischen Zugbetrieb benötigte Energie wird zum überwiegenden Teil direkt von den Wasserkraftwerken geliefert, aber auch der über das Umformerwerk Auhof bezogene Strom stammt zum größten Teil aus Wasserkraftanlagen, so daß die heimischen Wasserkräfte mehr als 90% der Gesamtenergiedeckung übernehmen. Der an sich geringe Anteil an kalorischer Energie kann in den österreichischen Dampfkraftwerken zum größten Teil aus minderwertiger Abfallkohle erzeugt werden, also aus einer Kohlensorte, deren Absatzschwierigkeiten derzeit einer der Hauptgründe für die Notlage des österreichischen Kohlenbergbaues ist. Wie wichtig es ist, daß der Eisenbahnverkehr in Österreich sich auf eine inländische Primärenergie stützen kann, zeigen die Erfahrungen nach dem zweiten Weltkriege. Während die von der Weltkohlenkrise und den Devisenschwierigkeiten Österreichs unabhängige elektrische Traktion nach Beseitigung der Kriegsschäden an den Bahnanlagen sehr rasch wieder anlaufen konnte und damit die Eisenbahnen zu einem leistungsfähigen und verlässlichen Instrument der Gesamtwirtschaft machte, konnte sich der Bahnbetrieb auf den dampfbetriebenen Strecken erst nach Jahren wieder erholen, ein Nachteil, an dem die österreichische Wirtschaft beinahe zugrunde gegangen wäre. Aber nicht nur die Änderung der für die Traktion verwendeten Primärenergie, sondern auch die Steigerung der Leistungsfähigkeit bringt den Bahnen bedeutende wirtschaftliche Vorteile. Die Abkürzung der Wagenlaufdauer durch die Beschleunigung der Züge, die bessere Ausnützung und die Vermeidung der sonst notwendigen Erweiterung der vorhandenen Anlagen sowie die Verdichtung des Fahrplanes ergeben Ersparnisse, die wohl zum Teil ziffernmäßig nur schwer erfaßbar sind, aber jedenfalls den Bahnbetrieb beträchtlich wirtschaftlicher machen. Die elektrische Traktion bringt auch Ersparnisse in der Erhaltung der Bahnanlagen und des Fahrparkes einschließlich der elektrischen Triebfahrzeuge selbst; sie ergibt vor allem auch sehr wesentliche Personalerparnisse und dabei gleichzeitig eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen für das Personal, die mindestens ebenso wichtig ist. Schließlich bringt die elektrische Traktion eine Verminderung der schädlichen Auswirkungen des Bahnbetriebes auf die Anrainer und eine



Abb. 11. Elektrotriebwagenzug, Reihe 4130 (Baujahr 1958)

höhung der Fahrgeschwindigkeit im elektrischen Betrieb bringt nicht nur für die Reisezüge eine Kürzung der Fahrzeiten, sondern als besonders wichtigen Erfolg vor allem auch die bedeutend raschere Abwicklung des Güterzugsverkehrs. Besonders stark wirkt sich diese Beschleunigung aller Züge naturgemäß auf den Steilrampen durch die wesentliche Abkürzung der Belegung der einzelnen Streckenabschnitte durch die Züge und die dadurch erzielte erhöhte Aufnahmefähigkeit der Strecke aus. Außerdem gestattet die größere Leistungsfähigkeit der elektrischen Triebfahrzeuge die Bildung schwererer Züge und die Vermeidung von Zugsteilungen vor den Rampenstrecken; die höheren Anfahrbeschleunigungen im elektrischen Betrieb vermindern den Einfluß der Zugsaufenthalte und der Langsamfahrten

Erhöhung der Annehmlichkeit des Reisens, ein Umstand, der in einem ausgesprochenen Reiseland von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist. Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß die wirtschaftlichen Erwartungen, die man in die Elektrifizierung setzte, voll eingetreten sind. Das neue Traktions-system verbessert die Produktivität des Bahnbetriebes ganz fühlbar; die Transportkosten je Einheit der Verkehrsleistung konnten wesentlich gesenkt werden, die auf einen Bediensteten entfallende Leistung stieg stark an.

Nach dem zweiten Weltkriege war es der Bundesbahnverwaltung klar, daß der Wiederaufbau der kriegsbeschädigten Anlagen und Einrichtungen mit einer durchgreifenden Rationalisierung verbunden werden mußte, um der Eisenbahn den ihr zukommenden Platz in der gesamten Verkehrswirtschaft des Landes zu bewahren oder sogar wiederzugewinnen. Dabei muß unter Rationalisierung die Erreichung des bestmöglichen Einsatzes der menschlichen Arbeitskraft und der technischen Einrichtungen zur Erzielung des größten wirtschaftlichen Erfolges verstanden werden; so gesehen, ist die Rationalisierung des Betriebes mit seiner Modernisierung untrennbar verbunden. Als besonderes Kennzeichen der Entwicklung der letzten Zeit hat sich inzwischen außerdem die immer ausgeprägtere Schlüsselstellung der Energiewirtschaft im gesamten Wirtschaftsleben erwiesen. Das rasche Anwachsen des Energiebedarfes in allen Zweigen der Wirtschaft und im Haushalt und die dabei immer näherrückende Gefahr, daß die bisher wichtigsten Energieträger, die festen und flüssigen Brennstoffe, in verhältnismäßig kurzer Zeit erschöpft sein werden, ließ die Steigerung der Energieproduktivität, das heißt also die Erreichung des Betriebserfolges mit dem geringsten spezifischen Energieaufwand, als besonders wichtiges Ziel erscheinen. Diese Überlegungen ergaben zwingend, daß zu den wichtigsten Rationalisierungsmaßnahmen gerade jene auf dem Gebiete der Energiewirtschaft gehören, also vor allem die Elektrifizierung.

Über die dadurch erreichbaren und auch tatsächlich erzielten wirtschaftlichen Erfolge wurde bereits gesprochen. Eine Überprüfung der Entwicklung der Energieproduktivität ergibt nun folgendes Bild: Wenn man den Energiebedarf (gerechnet in Tonnen Steinkohle unter Zugrundelegung der für solche Vergleiche üblichen Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen Arten der Primärenergie) für die Einheit der Verkehrsleistung (etwa 1 Btkm) für den reinen Dampfbetrieb mit 100 einsetzt, dann beträgt er bei der heutigen Verteilung des Verkehrs auf die Dampf-, Diesel- und elektrische Traktion etwa 37 und wird nach Abschluß des derzeit laufenden Elektrifizierungsprogramms und Ersetzung des restlichen Dampfbetriebes durch die Dieseltraktion noch rund 23 betragen. Dazu ist aber noch festzuhalten, wieviel je Verkehrseinheit an festen oder flüssigen Brennstoffen aufgewendet wird, die heute aus dem Auslande eingeführt werden müssen oder — wie etwa das Erdöl mit seinen Derivaten — besser für Zwecke verwendet werden sollten, für die sie durch andere Energieträger nur schwer oder gar nicht ersetzt werden können; dieser Wert ist von 100 bei reinem Dampfbetrieb auf etwa 25 bei der heutigen Verkehrsverteilung gesunken und wird

nach Abschluß des Programms rund 4 betragen. Diese Verminderung des spezifischen Energieverbrauches und des Anteiles der einzuführenden Rohenergieträger zeigt den gewaltigen Einfluß der Elektrifizierung auf die Energiewirtschaft der Zugförderung. Dazu kommt noch, daß die elektrische Traktion unabhängig davon ist, welche Primärenergie zur Erzeugung des elektrischen Stromes verwendet wird; sollte also aus irgendwelchen Gründen ein Wechsel der Primärenergie nötig werden, was etwa bei einem stärkeren Einsatz der Atomenergie möglich sein kann, dann wird diese Änderung ohne jede Rückwirkung auf die Führung des elektrischen Zugbetriebes sein und keine Umgestaltungen an den Einrichtungen der Eisenbahnen zur Speisung ihrer Züge mit elektrischer Energie nötig machen.

Zusammenfassend kann daher festgehalten werden, daß die elektrische Zugförderung in den nunmehr verstrichenen 50 Jahren im Netze der Österreichischen



Abb. 12. Blick aus dem Führerstand einer Elektrolokomotive

Bundesbahnen einen gewaltigen, den ganzen Eisenbahnbetrieb von Grund auf umformenden Aufschwung genommen und dabei alle Erwartungen und Hoffnungen erfüllt hat, die man in sie setzte. Diese Erkenntnis ist heute die Überzeugung aller für die Elektrifizierung maßgebenden Stellen und es wäre daher sehr zu wünschen, daß diese ihre Überzeugung auch programmgemäß in die Tat umsetzen könnten. Es ist eine recht betrübliche Feststellung, daß die Österreichischen Bundesbahnen wohl zu den ersten Bahnverwaltungen gehörten, die nach dem Jahre 1945 die Elektrifizierungsarbeiten, noch dazu nach einem ihr ganzes Netz umfassenden Plane, aufgenommen haben, daß aber heute diese Arbeiten durch die Ungunst der Budgetlage aus einer Krise in die andere kommen; sie können nur mit Mühe und mit immer stärker werdender Zeitversäumnis weitergeführt werden. Hoffen wir aber, daß für die Österreichischen Bundesbahnen bald wieder die Möglichkeit gegeben sein wird, ihre Elektrifizierungsarbeiten unter Einhaltung des seinerzeitigen, wohlüberlegten Zeitplanes durchzuführen und damit ihren Beitrag zur Gesundung des Verkehrswesens in Österreich und so zur Förderung der gesamten österreichischen Wirtschaft zu leisten.

Rundschau

Physik

DK 621.039.524.46.021 : 621.039.543.45 : 621.039.572 (43-2.53)

Die Instrumentierung des Karlsruher Forschungsreaktors FR 2. Ein allgemeiner Überblick. Von P. DOSCH und E. SCHNEIDER.

Der Karlsruher Forschungsreaktor FR 2 ist ein heterogener, schwerwassermoderierter Natururanreaktor. Sein maximaler thermischer Neutronenfluß beträgt $3 \cdot 10^{13}$ n/cm²s, seine thermische Leistung 12 MW.

Der Reaktorkern enthält 157 Brennstoffelemente aus metallischem Natururan, 31 Thorium-Brutelemente, einen Feinregelstab und 16 kombinierte Trimm- und Abschaltstäbe mit Neutronenabsorbern aus Cadmium, ferner eine Anzahl von Experimentierkanälen. Die beim Spaltprozeß freiwerdende Wärmeenergie wird durch einen Schwerwasserkreislauf über Wärmeaustauscher an einen Leichtwasserkreislauf, von dort über Kühltürme an die Außenluft abgeführt. Ein Heliumkreislauf führt das durch Radiolyse des Schwerwassers entstehende Knallgas ab. Ein Luftkreislauf versorgt das Reaktorgebäude mit klimatisierter Luft und liefert Kühlluft für die Experimentierkanäle.

Der Neutronenfluß wird über zwölf Zehnerpotenzen mit drei verschiedenen Meßkanälen erfaßt: für den Startbereich von etwa $10^0 \dots 10^5$ n/cm²s ist ein Impulsmeßkanal, bestehend aus einem Bortrifluorid-Proportionalzählrohr, Impulsvorverstärker, Impulsverstärker, Differential-Diskriminator und logarithmischem Mittelwertmesser eingesetzt. Ein zweiter logarithmischer Meßkanal mit unkompensierter Bor-Ionisationskammer und logarithmischem Gleichstromverstärker reicht von etwa $10^3 \dots 10^{10}$ n/cm²s. Der Leistungsbereich wird mit einem linearen Meßkanal von $10^8 \dots 10^{10}$ n/cm²s erfaßt. (Die Meßbereichangaben beziehen sich auf die Flußdichten am Einbauort der Neutronendetektoren.) Im Startbereich und im logarithmischen Bereich wird die Reaktorperiode, im Leistungsbereich die Neutronenfluß-Änderungsgeschwindigkeit durch Differenziervverstärker als Meßwert gebildet. Alle drei Meßkanäle sind wegen des angewendeten Zwei-von-drei-Sicherheitssystems dreifach ausgeführt.

Die Reaktorleistung wird automatisch geregelt. Regelgröße ist der Neutronenfluß. Ein logarithmischer Regelkanal ermöglicht neben der Leistungsregelung über den ganzen Bereich des logarithmischen Neutronenfluß-Meßkanals den vollautomatischen Start des Reaktors. Für genaue Regelung im Leistungsbereich ist ein linearer Regelkanal vorgesehen. Für beide Regelkanäle sind transistorisierte Regler vorgesehen, die die Stellglieder (Feinregelstab und Trimmabschaltstäbe) impulsweise steuern, wobei die Impulslängen und die Impulsfrequenz progressiv von der Regelabweichung abhängig sind. Die Regelparameter-Verstärkung und Nachstellzeit werden abhängig von der Regelabweichung gesteuert (Prinzip des Siemens-TELEPERM-Reglers).

Die Brennelementüberwachungs-Einrichtungen überwachen die Kühlung der einzelnen Elemente und weisen Schäden der Brennstoffumhüllung (Aluminium-Canning) nach. An jedem Element wird die Kühlmittelaustrittstemperatur mit einem Thermoelement und der Kühlmitteldurchfluß mit einem Woltmann-Flügel gemessen. Die Meßwerte werden zyklisch abgefragt und auf Grenzwerte überwacht. Außerdem werden sie in bestimmten Zeitabständen auf einen Meßwertdrucker in digitaler Darstellung gedruckt. Für die Hüllenbruchüberwachung werden den Brennstoffelementen zyklisch Kühlmittelproben entnommen, die auf radioaktive Spaltprodukte untersucht werden.

In den Reaktorkreisläufen werden an vielen Stellen Meßwerte überwacht, die über den Betriebszustand Aufschluß geben, z. B. Aktivitäten, Temperaturen, Drücke, Durchflüsse,

Behälterstände, elektrolytische Leitfähigkeit, pH-Wert, gasanalytische Größen.

Die Steuerungen der Kreisläufe sind weitgehend automatisiert, weil je nach Betriebszustand des Reaktors umfangreiche Programme eingestellt werden müssen. Die Steuerungen erstrecken sich auf die Betätigung einer großen Anzahl von Ventilen, Klappen, Pumpen und Gebläsen.

Das Sicherheitssystem schaltet den Reaktor bei gefährlichen Betriebszuständen durch Unterbrechen des Magnethaltestromes der Trimmabschaltstäbe ab. Die Abschaltung wird von Grenzwerten der Reaktorperiode, der Neutronenflußdichte, der Kühlmittelaustrittstemperatur, des Kühlmittelaustrittsdruckes, der Temperaturdifferenz an sechs repräsentativen Brennstoffelementen, der Luftaktivität in der Reaktorthalle und des Aktivitätsausstoßes aus dem Abluftschornstein abgeleitet. Alle Messungen und Grenzwertbildungen werden dreifach durchgeführt. Der Reaktor wird dann abgeschaltet, wenn zwei der drei Messungen einen Grenzwert melden. Dadurch wird erreicht, daß der Reaktor bei Störungen sicher und unabhängig von Gerätestörungen abgeschaltet wird. Außerdem werden unnötige Abschaltungen durch Gerätefehler vermieden. Etwaige Gerätefehler werden durch automatischen Vergleich der drei Einzelmessungen eines Meßkanals eliminiert.

Der Reaktorbetrieb wird von einer zentralen Warte aus geleitet, in der auf einem Pult und einer Schalttafel alle Anzeige-, Schreib-, Signal- und Schaltgeräte untergebracht sind. In einem besonderen Geräteraum sind die Geräteschränke für die Neutronenfluß- und Aktivitätsmessungen, für das Sicherheitssystem, die Kreislaufsteuerungen, die Brennelementüberwachung sowie alle Hilfsgeräte, wie Verstärker, Regler, Relais usw., aufgestellt.

Für die gesamte Instrumentierung ist eine eigene Energieversorgungsanlage, bestehend aus Gleichrichtern, Batterien und Umformermaschinensätzen, vorhanden, die einen einständigen, vom Netz unabhängigen Betrieb ermöglicht.

(Siemens-Zeitschrift, 34. Jg. [1960], S. 339 ... 347.)

E. SCHNEIDER

DK 061.6(437) : 621.039.001.5

Das Institut für Kernforschung der tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften. Von F. REICHEL, München.

Das Institut für Kernforschung ist eines der größten Institute der tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften. Sein Wirkungsbereich erstreckt sich sowohl auf die Grundforschung als auch auf die Anwendungsforschung auf dem Gebiet der friedlichen Verwertung der Kernenergie.

Das Institut wurde um die Mitte des Jahres 1955 gegründet. Es ist ein Komplex von Gebäuden, ein im Flußtal der Moldau unweit von Prag gelegenes „Atomstädtchen“. Es besteht aus drei physikalischen Pavillons, einem Pavillon für Energiewirtschaft, zwei chemischen Pavillons, dem Reaktorgebäude, dem Zyklotrongebäude und dem Gebäude, in dem der van de Graaffsche Beschleuniger untergebracht ist. Das Institut verfügt über eigene mechanische und elektronische Werkstätten, über eine eigene Konstruktionsabteilung und eine Entwicklungsstätte elektronischer Geräte, eine Station zur Liquidierung aktiver und nichtaktiver Abfälle sowie über eine Reihe weiterer Gebäude und Hilfseinrichtungen.

Zwei typische Geräte für die Kernphysik, nämlich der Kernreaktor und das Zyklotron, wurden von der UdSSR geliefert. Eine weitere, in der CSSR konstruierte Apparatur ist ein Kernteilchenbeschleuniger nach van de Graaff für 5 MeV. Die Ausstattung umfaßt weiterhin noch magnetische Spektrometer, deren Kennwerte dem Weltstandard entsprechen, eine Heliumverflüssigungsapparatur, mit einem Wasserstoffhilfsverflüssiger sowie weitere, die Grundausrüstung des Instituts bildende Geräte.

Der Reaktor des Instituts für Kernforschung ist ein Reaktor vom Swimming-pool-Typ für Forschungszwecke in heterogener Anordnung. Aktives Spaltmaterial ist mit dem Isotop U^{235} angereichert. Zur Abschirmung sowie als Reflektor und Kühlmittel dient destilliertes Wasser. Der durchschnittliche thermische Neutronenstrom beträgt 10^{13} N/cm²s. Der Reaktor dient physikalischen Experimenten, zur Erzeugung von Kernspaltstoffen und zur Bestrahlung verschiedener Materialien. Das Zyklotron des Instituts beschleunigt Alphateilchen auf eine Energie von 25 MeV. Der Elektromagnet wiegt 120 t, sein Polschuhdurchmesser ist 1 200 mm. Das Zyklotron dient zur Erzeugung selten auftretender Radioisotope, die nicht im Reaktor hergestellt werden können, sowie zum Studium von Kernreaktionen. Die magnetischen Betaspektrometer — ein Spektrometer mit doppelter Fokussierung und ein Zwischenbildspektrometer — dienen vor allem dem Studium sogenannter neutronendefizitärer Radioisotope, die aus einer — in einem der größten Beschleuniger der Welt, dem Synchro-Zyklotron des Instituts der Vereinigten Kernforschung in Dubno bei Moskau (das Protonen mit einer Energie von 680 MeV liefert) — bestrahlten Prallscheibe gewonnen werden.

Andererseits beschäftigt sich das Institut für Kernforschung mit der Erforschung der Struktur der Atomkerne, u. zw. mit der Untersuchung ihres Verhaltens bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt. Bei diesen Temperaturen ist die chaotische Wärmebewegung der Kerne auf ein Minimum herabgesetzt und der Spin der Kerne größtenteils in gleicher Richtung orientiert. Dadurch treten vereinfachte Verhältnisse auf, die es gestatten, genauere Angaben über die Eigenschaften der Kerne zu erhalten. Diese tiefen Temperaturen werden mittels einer Heliumverflüssigungsapparatur und starker Elektromagnete erzielt. Der größte, diesem Zweck dienende Magnet wiegt 54,7 t bei einem Durchmesser des mittleren Polschuhes von 210 mm. Dieser Magnet entwickelt bei einer Leistungsaufnahme von 80 kW in einem Luftspalt von 24,5 mm ein Magnetfeld von 27 500 G und wurde im Nationalunternehmen CKD-Staligrad hergestellt.

Die Erforschung der Struktur der Atomkerne ermöglicht auch Kernreaktionen, die im Institut für Kernforschung an einem in den Lenin-Werken in Plzen hergestellten van de Graaffschen Beschleuniger für 5 MeV untersucht werden. Ein Nebenprodukt dieser Arbeit ist der van de Graaffsche Beschleuniger für 1 MeV, der als Prototyp einer Erzeugungsreihe von Röntgenstrahlenquellen für Sterilmachungszwecke dienen kann. Im Institut für Kernforschung wird auch auf dem Gebiet der Dosimetrie radioaktiver Strahlungen gearbeitet. Es werden hier vor allem die absolute und die standardmäßige Dosimetrie von Alpha-, Beta- und Gammastrahlungen sowie die Personenschutz-Dosimetrie und Methoden zur Kontrolle sehr schwacher radioaktiver Verseuchungen der Luft entwickelt.

Ein weiteres Arbeitsgebiet des Institutes für Kernforschung ist die Kernenergetik, die sich mit Forschungsarbeiten an Reaktoren für energiewirtschaftliche Zwecke beschäftigt. Die CSSR baut mit Hilfe der UdSSR ein Versuchs-Kernelektrizitätswerk, in dem Erkenntnisse über den Betrieb eines heterogenen Reaktors mit natürlichem Uran, schwerem Wasser und Gaskühlung gewonnen werden sollen. Man erwägt, solche Reaktoren in der CSSR als erste Serie von Kernkraftzentralen einzuführen. Der Betrieb von Kernreaktoren hat auch eine breite radiochemische Problematik, der im Institut für Kernforschung gleichfalls Beachtung geschenkt wird. Neben den mit der Reaktorforschung zusammenhängenden Fragen — wie sie z. B. die Erzeugung von Kernbrennstoffen, die Verarbeitung der bestrahlten Brennstoffe und die Unschädlichmachung radioaktiver Abfälle darstellen — und neben der schon erwähnten Erzeugung von Kernspaltstoffen beginnt die radiochemische Abteilung auch auf dem Gebiet der, den Ein-

fluß von Strahlungen auf chemische Prozesse untersuchenden Strahlungskemie zu arbeiten, der große praktische Bedeutung beigemessen wird.

Im Institut für Kernforschung sollen außerdem noch einige Probleme der Kerntechnik gelöst werden. Zu diesen gehört auch das Problem der Kühlung von Reaktoren durch geschmolzene Metalle, vor allem durch Natrium.

Bahnanlagen

DK 621.332.33 : 621.315.624 : 666.189.211

Fahrleitungs-Isolatoren kein Problem mehr. Von H. HEINER, Krefeld.

Jede Verbesserung im Fahrleitungsbau ist wichtig für Bundesbahn, Straßenbahn und im industriellen Bereich.

Ein vollkommen neuartiger Isolator aus Glasfaser-Kunststoff wurde von mehreren Industrierwerken aus der inzwischen bekanntgewordenen hochfesten Kunststoffkette entwickelt.

Die Bruchfestigkeit beträgt hier mehr als das Doppelte des Sollwertes. Das bedeutet eine erhebliche Verlängerung der Lebensdauer und dadurch Ersparnis von Kontrollstunden sowie Reparaturzeit. Der elastische Baustoff dämpft Schwingungen sehr erheblich.

Der Glasfaser-Kunststoff ist so leicht, daß eine Type des neuen Isolators nur $\frac{1}{10}$ des bisherigen Gewichtes besitzt. Auch bei rauhsten Bedingungen — Staub, Feuchtigkeit, chemischen Einflüssen — bleibt zudem die hervorragende Isolierwirkung dieses Verbundwerkstoffes erhalten.

Metallurgie

DK 669.15-194 : 669.299

Kanadischer Uranstahl. Von F. REICHEL, München.

Eine kanadische Firma hat zum erstenmal eine neuartige Stahl-Uran-Legierung hergestellt, die in Kugellagern Verwendung finden soll. Diese Entwicklung ist ein Ergebnis mehrjähriger Forschung kanadischer Metallurgen, wonach ein Zusatz von Uran dem Stahl größere Widerstandskraft gegen Korrosion, Materialermüdung und Schock gibt. Wenn sich die neue Legierung durchsetzt, wird Kanadas Stahlindustrie über 1 000 t Uran jährlich benötigen, oder etwa 10 % jener Fördermenge, die es braucht, um Kanadas Uranindustrie am Leben zu erhalten, wenn 1966 die Lieferverträge mit den USA auslaufen. Die kanadische Uranindustrie hat vor kurzem größere Summen bereitgestellt, um Wissenschaftler nach neuen Verwendungsmöglichkeiten für Uran suchen zu lassen. Außer für Stahllegierungen hofft man Uran auch in der Elektroindustrie und bei der Keramikerstellung verwenden zu können. Da die Amerikaner ihre Uranverträge mit Kanada nicht verlängert haben, und die Uranmengen, die zur Energieerzeugung benötigt werden, weiterhin geringer werden dürften, sieht Kanadas Uranbergbau einer ungewissen Zukunft entgegen.

(Neue Zürcher Zeitung, 17. 5. 61.)

DK 621.385.8 : 669.046.5

Neue Elektronenstrahlschmelzanlage. Von F. REICHEL, München.

Die Möglichkeit, Metalle durch Beschuß mit Elektronenstrahlen zu schmelzen, ist schon seit Jahrzehnten bekannt, und ebenso alt ist auch das Interesse, diese Methode für die Technik nutzbar zu machen. Dieses Verfahren bietet als einziges die Möglichkeit, bei Verwendung ausreichend stromstarker Elektronenstrahlen auch Materialien mit extrem hohem Schmelzpunkt in technischem Maßstab schmelzen zu können, wie z. B. Wolfram, Molybdän, Tantal und Niob. Dies sind alles Metalle, die gerade in den letzten Jahren

durch die Erfordernisse der Atomtechnik, des Raketen- und chemischen Apparatebaues höchste Bedeutung gewonnen haben. Der zweite entscheidende Vorteil des Elektronenstrahlschmelzens ergibt sich daraus, daß das Material in höchstem Vakuum über längere Zeiten flüssig gehalten werden kann. Dabei wird es nahezu vollständig entgast, und man erzielt Reinheiten, wie sie bisher — zumindest im technischen Maßstab — noch niemals erzielt werden konnten. Diese überaus hohe Reinheit verleiht den Materialien hervorragende mechanische Eigenschaften, wie sie von der modernen Technik insbesondere beim Bau von Kernreaktoren und Strahltriebwerken für Flugzeuge und Raketen in zunehmendem Maße gefordert werden.

Gerade der in seinen Auswirkungen so vorteilhafte Beschluß des Materials mit Elektronenstrahlen im Hochvakuum bereitete aber große Schwierigkeiten. Zur Erzeugung von Elektronenstrahlen mit einer Energie von mehreren kW sind starke elektrische Felder notwendig. In diesen Feldern führen aber die aus dem Schmelzgut austretenden Gase zu elektrischen Entladungen, die den Schmelzvorgang erheblich stören.

Der W. C. Heraeus GmbH (Hanau), Schweiz, Abteilung für vakuum-metallurgische Anlagen, ist es gelungen, eine neue vorteilhafte Methode zu entwickeln. Die Elektronen werden bei diesem Verfahren in einer getrennt evakuierten Kammer beschleunigt und dann durch eine enge Lochblende auf das Material im Schmelzraum geschossen. So wird das aus dem Schmelzgut austretende Gas von den hohen Beschleunigungsfeldern der in der separaten Kammer eingebauten Elektronenkanone ferngehalten. Diese in der Einfachheit ihres Prinzips bestechende Lösung eröffnet

dem Elektronenstrahlschmelzen gleichzeitig noch zusätzliche wichtige Anwendungsgebiete. Da nämlich bei diesem Verfahren nicht mehr das zu schmelzende Material selbst als Beschleunigungselektrode für die Elektronen verwendet wird, wie dies bisher üblich war, braucht das Schmelzgut auch keine elektrische Leitfähigkeit zu besitzen. So können nunmehr außer den Metallen auch zahlreiche Nichtleiter, wie z. B. keramische Materialien, durch Elektronenstrahlen geschmolzen werden. Eine noch umwälzendere Bedeutung dürfte dem Schmelzen von Halbleitern im Hochvakuum zukommen.

(Neue Zürcher Zeitung, 12. 5. 1960.)

Diverses

DK 621.327.534.15

Unfallsichere Prüflampe. Von F. REICHEL, München.

Eine in den Niederlanden entwickelte tragbare Prüflampe mit großer Leuchtkraft wird als völlig unfallsicher bezeichnet. Sie besteht aus einer fluoreszierenden Polivinylröhre mit 33 mm Durchmesser und hat eine Länge von 410 mm. Die Lampe vermag auch schwersten Stößen zu widerstehen. Ihre Lichtintensität beträgt 330 lm. Die Lampe wird von einem Transformator aus gespeist, ist von kompakter Bauweise und in einer Metallkassette eingeschlossen. Die äußeren Teile sind aus Plastikmaterial. Um Funkenbildung zu verhindern, sind alle Kontakte verlötet. Die Lebensdauer der rund 255 g schweren Röhre wird mit ungefähr 5 000 h angegeben.

(Schweizer Industrieblatt, 19. 3. 1960.)

Verbandsnachrichten

71. Generalversammlung des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik

Die 71. Generalversammlung des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik findet am Mittwoch, dem 18. Oktober 1961, 16.30 Uhr s. t., in Wien I, Eschenbachgasse 9, II. Stock, Großer Saal, statt.

Tagesordnung:

- 1) Einleitung des Präsidenten
- 2) Geschäftsbericht des Generalsekretärs
- 3) Bericht des Vorsitzenden des Finanzausschusses
- 4) Bericht der Rechnungsrevisoren
- 5) Bericht der Schriftleitung

- 6) Wahlen
 - 6,1) Hauptausschuß
 - 6,2) Finanzausschuß
 - 6,3) Rechnungsrevisoren
- 7) Allfälliges

Anschließend, das ist etwa um 18.00 Uhr, folgt der Vortrag des Herrn Dr. WOLFGANG RITTER (Prokurist der Siemens & Halske AG, München, Vertriebsleiter der Halbleiterfabrik im Wernerwerk für Bauelemente) über „Der heutige Stand der Transistortechnik“.

Nach dem Vortrag findet ein zwangloses Zusammensein in den Klubräumen im I. Stock statt.

Freies Buffet

Buchbesprechungen

DK 534.1=2(048.1)

The Mechanics of Vibration. Von R. E. D. BISHOP und D. C. JOHNSON. Mit zahlr. Textabb. und Tab., XII, 592 S. Cambridge: At the University Press, 1960. 120 s. net.

Das umfangreiche Werk versucht die Theorie der mechanischen Schwingungen von einem einheitlichen Gesichtspunkt aus zu entwickeln. Jedes schwingungsfähige System antwortet auf die Erregung durch eine eingeprägte, harmonisch veränderliche Kraft mit harmonischen Schwingungen, deren komplexe Amplituden aus der Amplitude der erregenden Kraft durch Multiplikation mit einer komplexen Zahl gewonnen werden können. Die Verfasser nennen diese Zahl die Rezeptanz. Mit Hilfe dieser Größe kann nun das Verhalten von komplizierten, schwingungsfähigen Systemen bei Auf-

bringung harmonischer Erregungen studiert werden, indem man die Rezeptanz für eine beliebige Stelle des Systems nach einer Art Baukastenmethode aus den Rezeptanzen der Einzelelemente nach bestimmten Regeln zusammensetzen kann. Dieses der Denkungsart der Elektrotechniker gemäße Verfahren kann nicht nur auf Systeme mit endlich vielen Freiheitsgraden, sondern auch auf schwingende Kontinua angewendet werden.

Ohne die Laplace-Transformation explizit einzuführen, entspricht die von den Verfassern angewandte Methode durchaus dem Übergang auf den Laplaceschen Unterraum.

Der größte Teil des Werkes befaßt sich mit ungedämpften Schwingungen, in den letzten Kapiteln werden auch gedämpfte sowie freie, nichtharmonische und nichtperiodische Schwingungsvorgänge behandelt.

Umfangreiche Tabellen erleichtern das praktische Durchrechnen konkreter Schwingungsaufgaben. Das Werk bietet dem Schwingungstechniker in der Praxis viele brauchbare und rasch zum Ziel führende Ansätze. Für nichtperiodische Vorgänge ist allerdings nach Ansicht des Referenten die direkte Anwendung der Laplace-Transformation vorzuziehen.

G. HEINRICH

DK 538.56 : 538.312 = 2 (048.1)

Electromagnetic Energy Transmission and Radiation. Von R. B. ADLER, LAN JEN CHU, R. M. FANO. Mit zahlreichen Textabb., XVII, 621 S. New York-London: John Wiley & Sons, Inc. 1960. \$ 14,50.

Dieser Band ist aus Vorlesungen am Massachusetts Institute of Technology hervorgegangen; sein Gegenstand umfaßt einen Teil eines neuen „Kern-Lehrplanes“, dem sich alle Studierenden, ohne Rücksicht auf ihre spätere Spezialisierung, zu unterziehen haben. Die Ausführungen, die sich im allgemeinen auf Bekanntes erstrecken, wenden sich an den fortgeschrittenen Studierenden; die Kenntnis der Maxwell'schen Theorie wird vorausgesetzt. Nach einem kurzen Blick auf die Grundlagen des elektromagnetischen Feldes und die Maxwell'schen Gleichungen werden die elektromagnetischen Wellen zuerst entlang Leitern, sodann ohne solche näher betrachtet; und zwar stets zunächst der verlustfreie, einfachere, sodann der verlustbehaftete Vorgang. Die Darstellung ist klar und sehr eingehend; der Aufwand an Mathematik bei ausführlichen Erläuterungen verhältnismäßig sparsam. Es ist selbstverständlich, daß man bei dem reichen Inhalt des Bandes stellenweise manches anders wünschen könnte. So fehlt zum Beispiel die vollständige Telegraphengleichung für verlustbehaftete Leitungen im Reellen. Eine Diskussion über die Integration und die Ursachen der Integrationsschwierigkeiten wäre sicher nützlich. Abgesehen von solchen unvermeidlichen Einzelheiten ist der Band jedoch zum tieferen Eindringen in die Theorie der elektromagnetischen Wellen sehr geeignet.

L. KNEISSLER

DK 621.315.1 (048.1)

Der Freileitungsbau. Von H. RIEGER. Mit 164 Abb. und 58 Zahlentafeln im Text und in einer Tasche, VIII, 312 S. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1960. Geb. DM 45,—.

Dem Autor ist es im vorliegenden Werk gelungen, alle Sparten des Freileitungsbau's ausführlich genug zu behandeln und trotzdem die Anzahl der Seiten dieses Buches knapp zu halten. Damit hat er günstige Voraussetzungen für den Gebrauch dieses Werkes geschaffen. Das Buch beginnt folgerichtig mit der Planung und Berechnung der Freileitung, behandelt dann in weiteren Abschnitten alle Fragen des Leitungsbaues einschließlich der Montage. Ein eingehendes Schrifttumsverzeichnis beschließt das Werk. Hervorzuheben ist, daß hier auch neuen Erkenntnissen Raum gegeben wird, wie: Fremdschichtproblem bei Isolatoren, Steuerung der elektrischen Feldstärke und des Lichtbogens bei Armaturen, Schwingungen der Leiter mit großer Amplitude, Vibration und tanzende Seile, Anordnung der Erdseile u. a. m. Literaturhinweise ermöglichen ein genaueres Studium dieser Fragen.

Dem vorliegenden Buch liegen die für Deutschland gültigen Vorschriften und Normen zugrunde, weshalb bei dessen Gebrauch in Österreich einige Vorsicht notwendig ist. Fallweise muß auf österreichische Vorschriften umgestellt werden. Der Wert dieses Buches wird dadurch aber nicht gemindert. Auch für den in Österreich Studierenden bietet es eine wertvolle Fundgrube beim Studium des Freileitungsbau's. Auch der Praktiker wird gerne in diesem Buch blättern und es als Nachschlagewerk schätzen.

F. PHILIPPI

DK 621.315.668.2 (048.1)

Stahlmaste für Starkstrom-Freileitungen. Berechnung und Beispiele. Von W. TAENZER. 3. erweiterte Auflage von K. FIELITZ und H. MORS. Mit 134 Abbildungen und 8 Tabellen, VII, 164 S. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1960. Geb. DM 48,—.

Das bewährte Buch „Stahlmaste für Starkstrom-Freileitungen von W. Taenzer“ liegt nunmehr in einer 3. Auflage vor, welche auf Wunsch des Verfassers von den Herren Dipl.-Ing. K. Fielitz und Dr. Ing. H. Mors bearbeitet wurde. Die Namen dieser in der Fachwelt gleichfalls wohl bekannten und geschätzten Herren bürgen allein schon für beste Erledigung der ihnen anvertrauten Aufgabe. Und in der Tat weist die 3. Auflage einige begrüßenswerte Änderungen und Erweiterungen auf. Man ersieht bald die Absicht der neuen Bearbeiter, sich in vorliegendem Werk besonders auf den Entwurf und die Berechnung von Stahlmasten zu konzentrieren und alles andere der früheren Auflagen einzuschränken. Darstellungen von Ausschwingbildern, Tabellen über wirtschaftliche Spannweiten und eingehende Durchhangsberechnungen wurden jetzt weggelassen. Man bringt bloß entsprechende Anleitungen.

Der Abschnitt I „Allgemeine Grundlagen der Berechnung“ umfaßt in der Einleitung einen sich auf Maste und deren Gründungen erstreckenden Auszug aus den VDE-Vorschriften 0210/2.58, weiters werden dort allgemeine Grundsätze und Richtlinien für die Berechnung und Konstruktion von Stahlmasten und für die Berechnung und Ausführung von Mastgründungen geboten. Der Abschnitt II „Berechnungsbeispiele“ erfuhr gegenüber früher eine gehörige Erweiterung; der Umfang dieses Abschnittes stieg von 69 Seiten der früheren Auflage auf 128 Seiten, die Zahl der Berechnungsbeispiele wurde von 8 auf 14 erhöht. Die Berechnungsbeispiele sind klar gefaßt und entsprechen modernen Anschauungen. Auch ist zu begrüßen, daß ausführliche Berechnungsbeispiele von Mastgründungen mit Einzelfundamenten gegeben werden. Ein Anhang III enthält Tabellen über Knickzahlen, Seilquerschnitte und Festwerte von Leiterseilen. Neu aufgenommen sind Ausführungsbeispiele für Isolatorenketten und Armaturen.

Das vorliegende Buch wird in der Fachwelt sicherlich wieder gute Aufnahme finden, es bringt eine wohldurchdachte und übersichtlich gehaltene Anleitung zum Entwurf und zur Berechnung von Stahlmasten und deren Gründungen. Dem Werk liegen wohl die für Deutschland gültigen Vorschriften und Normen zugrunde. Beim Gebrauch dieses Buches in Österreich muß deshalb fallweise auf österreichische Vorschriften umgestellt werden, was aber dem Wert dieses Buches keinen Abbruch tut.

F. PHILIPPI

DK 621.315.002 (048.1)

Kabel und Leitungen für Starkstrom. Ein Siemens-Taschenbuch. Mit zahlreichen Textabb., 496 S. Berlin-Erlangen: Siemens Schuckertwerke Aktiengesellschaft. 1960.

Das vorliegende im Vorwort als Taschenbuch bezeichnete Werk behandelt in kurzer Übersicht im ersten Abschnitt die wesentlichen Aufbauteile für Kabel und Leitungen. Es sind dies die Leiter aus Kupfer und Aluminium, die Isolierung aus thermoplastischem Kunststoff oder Gummi, oder aus getränktem Papier, die Schutzmäntel aus Kunststoff, Gummi oder aus Metall, der Korrosionsschutz für Kabel mit Bleimantel oder Aluminiummantel, die Bewehrung und endlich die konzentrischen Leiter und Schirme bei kunststoffisolierten Kabeln mit Kunststoffmantel. Von den einzelnen Werkstoffen werden die elektrischen und mechanischen Eigenschaften angegeben und es wird auf die entsprechenden VDE-Vorschriften Bezug genommen. Weitere Abschnitte behandeln die einzelnen Typen von isolierten Starkstromleitungen, Starkstromkabeln mit Gummi-, Kunststoff- und

getränkter Papierisolierung, Kabeln für verschiedene Sonderzwecke und endlich die Typen der Hochspannungskabel mit den verschiedenen Ausführungsformen, wie Ölkabel, Gasinnendruckkabel im Stahlrohr und Gasinnendruckkabel im Metallmantel. Der Aufbau der einzelnen Leitungs- und Kabeltypen wird durch sorgsam beschriebene Abbildungen abgestufter Kabelmuster erläutert und auf ihre Verwendung hingewiesen. Von besonderem Interesse sind die Forderungen an die Konstruktion und an die Bettung von Kabeln in Bergensgebieten, die sich aus eingehenden Versuchen der Siemens-Schuckertwerke ergaben.

Der Abschnitt Planung von Kabelanlagen vermittelt dem projektierenden Ingenieur alle notwendigen Angaben, um für einen vorgesehenen Verwendungszweck das am besten geeignete Kabel auszuwählen. Ausgehend von der Strombelastbarkeit der in Erde, Luft oder in Kanälen verlegten Kabel für Dauer-, Kurzzeit- oder aussetzenden Betrieb und der mechanischen und thermischen Kurzschlußbeanspruchung, wird in diesem Abschnitt die Beeinflussung von Fernmelde- oder Steueranlagen durch parallellaufende Hochspannungsleitungen, weiters die Wirtschaftlichkeit der Kabelanlagen und die Planung von Ortsnetzen behandelt. Zahlreiche Diagramme erleichtern die Rechenarbeit und angeführte Rechenbeispiele erweitern den praktischen Wert dieses Werkes.

In den Abschnitten über Garnituren und Legung finden sich wertvolle Hinweise für Montageingenieure und Elektromeister. Im Abschnitt Messen und Prüfen von Kabelanlagen werden die klassischen Methoden zur Fehlerortsbestimmung und das Impulsreflexions-Meßverfahren erläutert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Werk allen Lesern mit auch nur geringen Vorkenntnissen gut fundierte Kenntnisse über die Praxis der Kabeltechnik vermittelt. Es wird dem projektierenden Ingenieur zur Hebung der Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit von Kabelanlagen wertvolle Dienste leisten, und dem Studierenden ermöglicht es als Begleit- und Ergänzungswerk zu der Fachliteratur, in den praktischen Teil der Kabel- und Leitungstechnik einzudringen.

E. STORMANN

DK 621.318.435.3 : 621.375.3 (048.1)

Der Transduktor, ein Baustein der Automatisierung. Von W. KAFKA. Mit 111 Abb., 140 S. Hamburg-Berlin-Bonn: R. v. Decker's Verlag — G. Schenk GmbH. 1960. Leinen DM 15,—.

Der Magnetverstärker oder Transduktor, eine Anordnung aus Drosselspulen mit ferromagnetischen Kernen, benutzt die nichtlinearen magnetischen Eigenschaften dieser Kerne zur Steuerung von Strömen und Spannungen. Er arbeitet also ohne bewegte Teile und hat sich daher als betriebssicheres, wartungsfreies Element von großer Konstanz und langer Lebensdauer in Steuerketten, Regelkreisen und als Hilfsmittel zur Meßwerterfassung und logischen Verarbeitung erwiesen. Er kann als stetig wirkendes Stellglied, als kontaktloser Schalter und als Verstärker eingesetzt werden.

Der Verfasser hat sich zum Ziel gesetzt, den Fachmann für Ausrüstung und Betrieb automatisierter Anlagen über den Transduktor, seine Einsatzmöglichkeiten, die richtige Anwendung und die Vermeidung von Betriebsstörungen zu unterrichten.

Der erste Teil des Buches befaßt sich mit den physikalischen Grundlagen, den Wirkungsweisen, den Werkstoffen, dem Aufbau und den Eigenschaften des Transdukters; der zweite mit den Anwendungen als Verstärker und Regler, mit verschiedenen Beispielen von Antriebsregelungen und Regelungen elektrischer Größen. Weiter werden u. a. der Transduktor als Gleichstromwandler, als Strombegrenzer, als Modulator, als Schalter und als logisches Element behan-

delt. Ein Verzeichnis mit den wichtigsten Anwendungen in der Reihenfolge des praktischen Einsatzes, ein Schrifttumsverzeichnis, eine Zusammenstellung der Formelzeichen und ein Stichwörterverzeichnis schließen das Buch ab, das sowohl für den Fachman als auch für den Techniker, der sich über dieses wichtige Automatisierungselement informieren will, als wertvoll angesehen werden muß.

W. OEBURGER

DK 53.08 (048.1)

Zahl — Maß — Bild, Grundfragen der Meßtechnik. Von W. SPÄTH. 248 Seiten mit 129 Diagrammen und Nomo-grammen, zahlreiche Tabellen. Stuttgart: Verlag A. W. Gentner KG. 1960. Geb. DM 29,50.

Der Inhalt dieses Buches hält nicht das, was der Titel verspricht. Wollte man die Absicht, die dieser Arbeit zugrunde liegt, in wenige Worte fassen, dann wären es diese: Der Verfasser hat versucht, die bei den physikalischen und statistischen Untersuchungen häufig auftretenden S-förmigen Kurven (z. B. Magnetisierungslinie) in einem Koordinationssystem durch geeignete Wahl nichtlinearer Maßstäbe der Abszissen- und Ordinatenachse in Gerade zu verwandeln. Dazu hat er ein Arsitä-Koordinatensystem gewählt, dessen Name daher rührt, daß es für die beiden Koordinatenachsen \arcsin - und \arctan -Teilungen benutzt. Dieses Arsitä-Koordinatensystem soll den Vorteil haben, daß die raffende Wirkung der \arctan -Teilung größer ist als die einer \log -Teilung.

Der Untertitel des Buches „Grundfragen der Meßtechnik“ ist irreführend. Denn der Autor verwechselt schon auf den ersten Seiten Grundgrößen mit Einheiten und Dimensionen. Wir finden in dem Buch Sätze, wie den folgenden: „Als Haupterfordernis für die aufzustellende typische Vergleichsgröße eines statistischen Kollektivs gilt die Bedingung der projektiven Invarianz.“ Der Autor ist der Meinung, daß die Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle eines abgeschlossenen Gasvolumens etwa in m/s ausgedrückt weder mit dem Erdumfang, noch mit der Umdrehungszahl der Erde etwas zu tun hat. Natürlich hat die Geschwindigkeit eines Moleküls mit diesen beiden Größen etwas zu tun und steht zu den beiden Größen in einem Verhältnis.

Es ist ein Irrtum, dem man so häufig begegnet, daß „als Maßeinheit nur eine typische Größe“ des Kollektivs in Frage kommt. Durch solche Meinungen sind die vielen Maßsysteme entstanden, die heute leider noch eine heillose Verwirrung stiften.

Wenn der Autor der Meinung ist, daß in einem Diagramm oder in einer Leiter die Maßzahl des Bildgrößenschritts und des Dinggrößenschritts gleich sind, dann ist er im Irrtum (ÖNorm im Entwurf). Wir brauchen nur an nichtlineare Zusammenhänge zu denken.

In dem Buch werden hauptsächlich geometrische Größen, Mittelwertbildungen, projektive und perspektivische Beziehungen in unerwartet primitiven Figuren erläutert (Bild 50).

Das Buch ist enttäuschend.

M. SKALICKY

DK 621.317.7.082.742 (048.1)

Grundlagen der Drehspulinstrumente und verwandter Systeme. Band I. Von C. MOERDER. Buch C 1 der Abt. V: Messung elektrischer Größen, Herausgegeben von Prof. Dr. Ing. FRANZ MOELLER. Mit 130 Bildern und 7 Tafeln, XI, 208 S. Karlsruhe: Verlag C. Braun. 1960. Ganzleinen DM 36,—.

Der vorliegende erste Band behandelt die allgemeinen theoretischen und praktischen Fragen der Drehspulinstrumente, während ein zweiter Band, auf diesen Grundlagen fußend, die vielfältigen Anwendungsformen dieser Systeme einschließlich Ohmmeter und Quotientenmesser bringen wird. Es soll hervorgehoben werden, daß der Verfasser mit Erfolg

bemüht war, nicht nur die elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Drehspulinstrumente zu erläutern, sondern auch die elektrischen und mechanischen Bauelemente für Theorie und Praxis darzustellen. Dabei wäre es vielleicht reizvoll gewesen, auch in der Art von W. N. Goodwin: „Relation Between Electrical and Mechanical Parameters of a Permanent-Magnet Movable-Coil Instrument Having a General Circuit.“ AIEE Trans., Vol. 67 (1948) S. 374, die engen Zusammenhänge zwischen elektrischen und mechanischen Baugrößen zu betrachten. Den Ingenieuren, die sich mit der Entwicklung elektrischer Meßgeräte befassen, dürften die Angaben über die zulässigen Beanspruchungen im Kapitel: „Berechnungsformeln für ebene Spiralfedern“ besonders wertvoll sein. Auf Seite 30 sollte es wohl heißen: Elastizitätsmodul von etwa $1,2 \cdot 10^6$ kp/cm². Den gleichen Leserkreis werden auch die bequemen Formeln zur Berechnung des Dämpfungsfähmchens und die eingehende Behandlung des permanentmagnetischen Kreises willkommen sein. Ingenieuren, die sich mit der Fabrikation von Drehspulinstrumenten beschäftigen, dürfte die Gegenüberstellung der verschiedenen Magnetisierungsmethoden und die Beschreibung der Auswirkungen einer Unterbrechung des Eisenschlusses wichtige Hinweise geben können. Diese würde wohl auch eine genauere Beschreibung der Schwächungsmethoden und Schwächungseinrichtungen zur Stabilisierung der Dauermagnete und zur Justierung der Empfindlichkeit von Kernmagnetsystemen interessieren. Sehr zu begrüßen ist auch die erschöpfende Behandlung von Störeinflüssen und deren Bekämpfung. Dabei werden ebenso in eigenen Kapiteln das Störeisen der Drehspule und Störisenprüfgeräte erläutert wie der Einfluß der Gehäusegröße auf die Eigenerwärmung und das Beschlagen der Skalenscheibe. In dem Abschnitt „Die Sicherheits- und Genauigkeitsvorschriften für elektrische Meßgeräte“ werden die einschlägigen Bestimmungen von VDE 0410/10.59 eingehend und treffend erläutert.

Ein Schrifttumsverzeichnis von neun Seiten rundet das Buch zu einer sehr wertvollen Monographie über Drehspulinstrumente, die man bisher vermißt hat, ab. Dem Erscheinen des zweiten Bandes kann man mit viel Interesse entgegensehen. Bei der wachsenden Verbreitung elektrischer Meßinstrumente, unter denen die Drehspulinstrumente eine führende Rolle einnehmen, kann dieses wohlgelungene Werk nur wärmstens begrüßt werden.

R. ZAWISCHA

DK 621.385.833 = 2 (048.1)

The Electron Microscope. The Present State of the Art.

Von M. E. HAINE und V. E. COSSLETT. Mit zahlreichen Textabb., XVI, 282 S. London: E. & F. N. Spon Ltd. 1961. 55 s. net.

Der Verfasser gibt eine Einführung in die physikalischen Grundlagen der Elektronenmikroskopie sowie eine allgemeine Übersicht über die technische Konstruktion und die praktische Anwendung der Geräte. Besonders hervorgehoben wird die Bedeutung der wellenmechanischen Auffassung für Begriffe wie Auflösungsvermögen und Bildkontrast. Zur Erläuterung werden mit sehr sparsamer Verwendung mathematischer Methoden einfache Beispiele durchgerechnet. In derselben Art werden Probleme der Elektronenerzeugung, der Bildaufzeichnung und -beobachtung sowie der praktischen Begrenzung des Auflösungsvermögens behandelt. Der Autor gibt auf Grund seiner eigenen großen Erfahrung eine größere Zahl von Tabellen, Diagrammen und „Faustregeln“ zum Gebrauch für den Praktiker.

Leider wird die eigentliche geometrische Elektronenoptik als bekannt vorausgesetzt, so daß die Existenz von optischen Eigenschaften der abbildenden elektrisch-magnetischen Felder, wie Brennweite, Vergrößerung usw., nicht zwingend erscheint und damit das Buch für einen Physiker etwas an Wert verliert.

Dagegen ist es für einen praktisch am Mikroskop tätigen Techniker, Biologen oder Mediziner, der sich eingehender über sein Instrument informieren will, gewiß zu empfehlen, insbesondere wegen des zweiten, allgemeinen Teiles. Darin wird die Gesamtkonstruktion eines speziellen Gerätes der Metropolitan-Vickers Electrical Company E. M. 6 beschrieben; vor allem wird auf die Probleme einer genauen Justierung eingegangen. Weiters wird eine Reihe dem Elektronenmikroskop verwandter Geräte erwähnt, die aber nicht auf dem Durchstrahlungsprinzip beruhen (Reflexionsmikroskop, Schattenmikroskop). Zuletzt wird die zur Erzielung einwandfreier Resultate wesentliche Objektpräpariertechnik (Schrägbeldampfung, Keilschnitte, Auftrocknung) hervorgehoben.

O. HITTMAYER

DK 546.831 (048.1)

Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie. 8. Auflage.

System Nr. 42: Zirkonium. 448 Seiten, 57 Abbildungen. Weinheim/Bergstraße: Verlag Chemie GmbH, 1958. Kart. DM 261,—, Ganzleinen DM 266,—.

Angesichts der großen technologischen Bedeutung, die dem Zirkonium in der modernen Technik, auch im Reaktorbau, zukommt, ist das Erscheinen dieses Bandes besonders zu begrüßen. Wohl wird die Literatur nur bis zum Jahre 1949 berücksichtigt. Dies geschieht aber in der gewohnt sorgfältigen und klar geordneten Weise, so daß dieser Band für den auf diesem Gebiet Arbeitenden einen verlässlichen Ausgangspunkt darstellt.

Im Kapitel „Vorkommen“ (50 Seiten) wird eine ausführliche Darstellung über das geochemische Verhalten sowie eine klare Übersicht über Topographie und Mineralogie der verschiedenen Zirkoniumverbindungen geboten.

Im anschließenden Abschnitt über Gewinnung und Verwendung (34 Seiten) werden die für dieses Element in besonderem Maße notwendigen Anreicherungsverfahren durch Klassierung, Schwerkraftauflbereitung, Flotation und elektrostatische Aufbereitung beschrieben, noch breiteren Raum nehmen aber die chemischen Trenn- und Reinigungsverfahren ein. An Hand der angegebenen Verwendungsbeispiele des Zirkonium-Metall als Werkstoff, vor allem in der Vakuumtechnik und Elektronik, ersieht man, durch Vergleich mit den heute bekannten Anwendungsbeispielen, wie stark gerade dieses Metall durch die moderne Technik gefördert wurde. So ist es typisch, daß zur Zeit der Abfassung dieses Handbuches der Einsatz nichtmetallischer Zirkoniumverbindungen, z. B. in der keramischen und Glasindustrie, gegenüber der Verwendung als Metall oder Legierungselement weit überwiegt.

Entsprechend dem Aufbau des Gmelins Handbuches wird anschließend die Literatur über elementares Zirkonium (Darstellung, physikalische Eigenschaften, elektrochemisches und chemisches Verhalten) angeführt (108 Seiten).

Unter den zahlreichen Darstellungsmethoden nehmen die technisch wichtigsten naturgemäß den breitesten Raum ein: die Reduktion von $ZrCl_4$ in der Dampfphase mit geschmolzenem Mg (Kroll-Prozeß) sowie die thermische Zersetzung von Zirkoniumhalogeniden an glühenden Drähten. Zu dem heute bestehenden großen Angebot an Zirkoniummetall hat vor allem die Weiterentwicklung des Kroll-Prozesses beigetragen, wobei es durch sorgfältiges Abhalten von Fremdgasen gelingt, Zr-Schwamm zu erhalten, der bei einem späteren Einschmelzen im Vakuumlichtbogen ein duktiles Metall liefert.

Unter den physikalischen Eigenschaften sind alle charakteristischen Größen angeführt, wobei wie immer nach einer klaren, übersichtlichen Gliederung getrachtet wurde. Die Angaben umfassen ebenso die Eigenschaften des Zirkonium-Atoms wie die mechanischen Eigenschaften des Metalls, die optischen Eigenschaften, wobei auch zahlreiche Angaben

über das sehr komplizierte Emissionsspektrum des Zr nicht fehlen.

Da Zirkonium ja als Gettemetall verwendet wird, war zu erwarten, daß beim chemischen Verhalten vor allem die Reaktionen mit Gasen angeführt werden. Die anschließend angeführten Reaktionen der Zirkoniumsalze sind vor allem für den Analytiker von Bedeutung.

Bedingt durch das Gmelinsystem, wonach Legierungen nur mit dem jeweils systemniedrigeren Partner angeführt werden, finden sich in diesem Band nur wenige Angaben über Legierungssysteme, die aber keine technische Bedeutung besitzen. Beim nachfolgenden Abschnitt „Verbindungen des Zirkoniums“ (325 Seiten) wirkt sich dieses System dagegen wieder günstig aus, da die Eigenschaften, Darstellung und Verwendung aller charakteristischen Verbindungen des Zirkoniums, beschrieben werden. Während die Reaktion zwischen Zr und H_2 (11 Seiten) vor allem durch das Auftreten metallischer Hydride gekennzeichnet ist, die u. a. in neuer Zeit zur Entwicklung fester, homogener Kernbrennstoffe auf der Basis von U-Zr-Hydride geführt hat, steht unter den Verbindungen von Zr- O_2 (55 Seiten) vor allem das hochschmelzende und deshalb als Tiegelmateriale besonders geeignete ZrO_2 im Vordergrund. Unter den weiters beschriebenen Verbindungen des Zirkoniums finden sich u. a. die als Ausgangsprodukt für die Metallgewinnung wichtigen Hologenide, die als Hartmetall verwendeten Nitride, Boride, Carbide und Silicide, während andere Verbindungen mit Elementen der Systemnummer bis einschließlich 41, sofern man von Mischoxyden, welche als keramische Massen Bedeutung haben, absieht, zum Teil wieder ausschließlich von allerdings hohem wissenschaftlichen Interesse sind.

H. BILDSTEIN

DK 621.574/.575 (048.1)

Kühlschränke und Kleinkälteanlagen. Von P. SCHOLL. Siebente Auflage. Mit 68 Abb., VI, 102 S. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1960. Geheftet DM 7,50.

Mit dieser nun vorliegenden 7. Auflage wird der neueste Stand der Kühltechnik dem interessierten Laien in einer übersichtlichen und leicht verständlichen Form dargebracht. Nach einer kurzen Einleitung über die wichtigsten physikalischen Begriffe wird die Wirkungsweise der Kompressions- und der Absorptionskältemaschine erklärt. Anschließend wird die praktische Durchbildung der handelsüblichen Kühlschränke besprochen, ergänzt durch erläuternde Zeichnungen und Photographien. Die einzelnen Bauelemente: Kompressionsmotor, Kondensator, Reduzierventil und Regleinrichtungen, ebenso die verschiedenen Kühlmittel, werden genau beschrieben. Sehr einleuchtend werden der Unterschied zwischen Kompressions- und Absorptionskälte-

maschine und ihre Vor- und Nachteile vor Augen geführt. Ein weiterer Abschnitt bringt allgemeine Gesichtspunkte für die Nahrungsmittelkühlung: das Problem der Luftfeuchtigkeit, zweckmäßige Maßnahmen für den Schrankbau, Bedingungen für günstige Lebensmittellagerung und die Beschreibung von Tiefkühltruhen für die Konservierung von Nahrungsmitteln. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die handelsüblichen Ausführungsformen von Kompressions- und Absorptionskühlschränken. Die Typen der einzelnen Firmen werden in übersichtlichen Bildern vorgeführt und ihre Vorteile und speziellen Verwendungszwecke behandelt. Als Sonderanwendungen von Kleinkältemaschinen werden die Klimaanlage zur Kühlung, zum Entfeuchten, zur Reinigung der Luft, Frischluftzuführung und die Wärmepumpen zur Heizung ausführlich besprochen. Im letzten Teil gibt der Verfasser einen Überblick über gewerbliche Kleinkälteanlagen: Kühlvittrinen, Kühlanlagen in Fleischerei- und Gaststättenbetrieben, Speiseeisbereiter für Konditoreien, Tiefkühlschränke zum Blumenkühlen.

Wünscht ein besonders interessierter Leser tiefer in einzelne Teilfragen einzudringen, so ermöglicht ihm das ein reichhaltiges Literaturverzeichnis.

Diese Broschüre von P. Scholl erfüllt nicht nur die Aufgabe, das Wissen über die Kleinkältetechnik auf einen möglichst breiten Verkäuferkreis zu übertragen und als Anregung für die Lehrkräfte von Berufsschulen zu gelten, sondern sie gibt jedem, der die Absicht hat, sich ein Kühlaggregat anzuschaffen, einen schönen Überblick und wertvolle Hinweise.

H. PREIER

DK 621.873.007 (048.1)

Was der Kranführer von seiner Arbeit wissen muß! Von A. TOLKSDORF. 4., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 103 Bildern, 126 S. Stahleisen-Schriften, Heft 1. Düsseldorf: Verlag Stahleisen m. b. H. 1961. DM 7,80.

Die Statistik der Deutschen Berufsgenossenschaften weist innerhalb von 4 Jahren 38 287 Unfälle, die durch Krananlagen verursacht wurden, nach. Davon verliefen 322 tödlich! Sie zeigt, wie notwendig es ist, mit der Führung eines Kranes Leute zu betrauen, die dazu ausgebildet sind.

Da eine Fahrerprüfung gesetzlich nicht vorgeschrieben ist — es wird bloß verlangt, daß nur Personen über achtzehn Jahren, die zuverlässig und mit der Bedienung vertraut sind, die Kranführung übernehmen dürfen — so bleibt es den Betrieben überlassen, die Kranführer nach eigenem Ermessen zu schulen. Dabei kann vorliegende Schrift bestens als Unterrichtsbehelf dienen. Sie erspart Überlegungen, was zu lehren und zu prüfen ist, da sie das Ausmaß der theoretischen und praktischen Kenntnisse umreißt, die ein Kranführer besitzen soll.

R. CHRISTL

Mitteilungen

Ernennungen und Ehrungen

Der Bundespräsident hat — lt. Wiener Zeitung vom 8. 8. 1961 — mit Entschließung vom 13. 6. 1961 dem Vizepräsidenten unseres Verbandes, Herrn Gen.-Dir. Dipl.-Ing. VIKTOR FRISCH, den Titel Baurat h. c. verliehen.

Unser Mitglied, Herr Dir. Dipl.-Ing. ALEXANDER KOTHBAUER, wurde durch die 4. außerordentliche Hauptversamm-

lung der Ennskraftwerke AG vom 6. Juli 1961 in den Aufsichtsrat der Ennskraftwerke AG gewählt.

Anschrift des Verfassers des Aufsatzes dieses Heftes:

Min.-Rat Dipl.-Ing. Dr. techn. Alexander Koci, ÖVE, Leiter des Elektrodienstes der Generaldirektion der ÖBB, Wien III, Daffingergasse 4.

ANTON MATTIG

Kommanditgesellschaft

WIEN XIV, MATZNERGASSE 34

TEL. 92 22 21 Δ

- Impulszähler – (Telefonzähler)
- Techn. Uhr- und Laufwerke
- Wahlscheiben
- Taxameter
- Zahnräder und Fräser
- Sonderfertigungen

HELLOWATT

KILOWATTBEGRENZER

*Zur
Begrenzung
der
Leistungsspitze*



HELLOWATT WERKE ELEKTRIZITÄTS-AG
Berlin-Charlottenburg

VERTRETUNG FÜR: Wien, Niederöst., Burgenland, Steiermark, Kärnten
ING. ALEXANDER FRAUENDORFER · WIEN I, BÜRSE GASSE 18

VERTRETUNG FÜR: Oberösterreich, Salzburg, Tirol, Vorarlberg
DIPL.-ING. HERBERT HOFMANN · LINZ/DONAU, STOCKBAUERNSTR. 17



mit dem
Fortschritt
immer in
Kontakt durch
Bosch



BOSCH
MP-KONDENSATOREN

ELEKTRO-DIESEL HANDELSAKTIENGESellschaft
Wien I, Schuberting 6 Telefon 524571



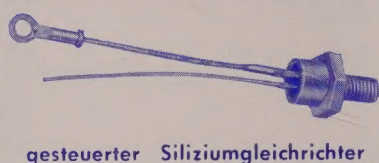
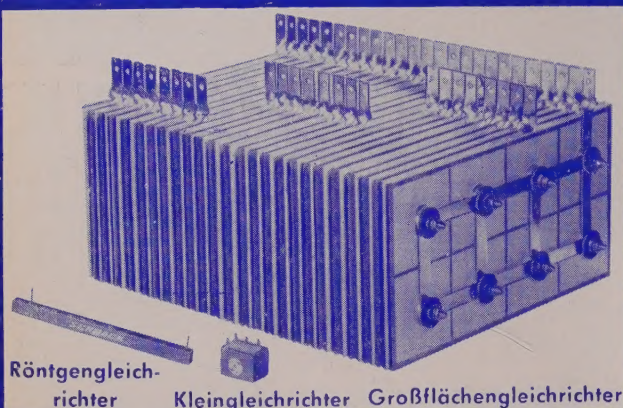
Die Anwendung von Elektroheil-
geräten fördert Ihre Gesundheit!

Besuchen Sie die neugestaltete Beratungsstelle
der

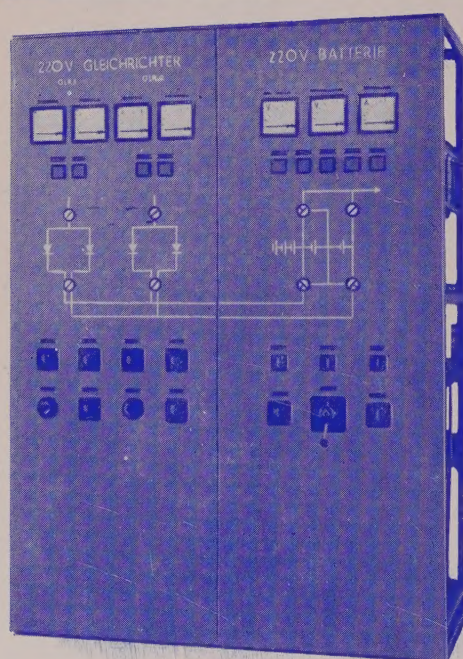
**Wiener Stadtwerke
Elektrizitätswerke**

VI, Mariahilferstraße 41, Telefon: 57 64 61

Geöffnet: Montag bis Freitag 8 bis 18 Uhr
Samstag 8 bis 12 Uhr



GLEICHRICHTER



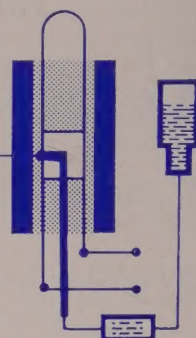
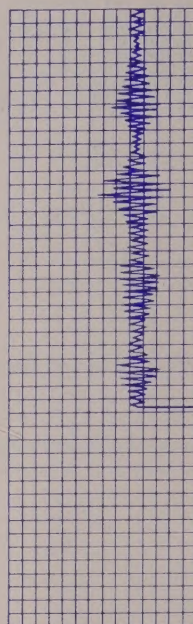
Ladeanlage für Stationsbatterie

SCHRACK

237

E. SCHRACK E. A. G., Wien XII, Pottendorferstr. 25-27, Tel. 83 26 51

SIEMENS
MESSTECHNIK



In Direktschrift aufzeichnen

und daher sofort auswerten
lassen sich Oszillogramme von Schwingungs-
vorgängen bis etwa 1000 Hz mit
dem Flüssigkeitsstrahl-Oszillographen

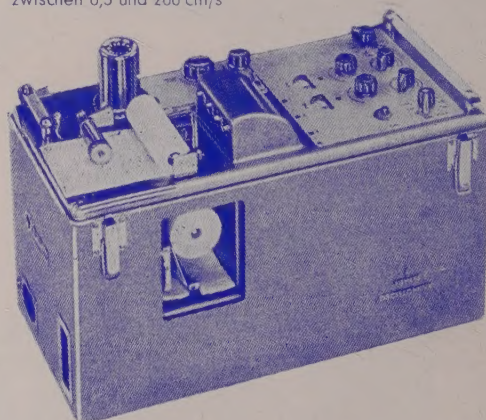
OSCILLOMINK

Die Normalausführung des OSCILLOMINK
enthält zwei Meßkanäle mit eingebauten
elektronischen Verstärkern und zwei
Meßwerke für die Zeitmarkierung.

Größte Empfindlichkeit eines
Meßwerkes mit Verstärker
etwa 30 mV/cm

Höchste zulässige Eingangsspannung 500 V

Papiergeschwindigkeiten
zwischen 0,5 und 200 cm/s



SIEMENS & HALSKE
GESELLSCHAFT M. B. H.
WIENER SCHWACHSTROM WERKE

Generalvertretung der
SIEMENS & HALSKE A. G.
BERLIN — MÜNCHEN FÜR ÖSTERREICH